

AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA DAS MISTURAS (ESCAMAS DE PEIXES E CASCAS DE COCO) PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

Ayrton Pablo Raiol Monroe, ayrton.pablo@discente.ufma.br^{1*}

Mariana da Silva Melo, melo.mariana@discente.ufma.br²

Jefferson Rodrigues Ferreira, jefferson.rodrigues@discente.ufma.br¹

Julie Brenda Santos da Silva, julie_brenda@hotmail.com³

Glauber Cruz, cruz.glauber@ufma.br^{1,3}

¹Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Engenharia Mecânica, Avenida dos Portugueses, 1966, Bacanga, São Luís (MA).

²Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Engenharia Química, Avenida dos Portugueses, 1966, Bacanga, São Luís (MA).

³Instituto Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Mecânica e Materiais, Avenida Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, São Luís (MA).

Resumo: O Brasil está entre os quatro maiores produtores mundiais de coco verde ou coco de praia. Todavia, tal cenário contribui com o descarte inapropriado de cascas de coco, ocasionando riscos socioambientais, bem como a contaminação de solos, águas superficiais e subterrâneas. Paralelamente, salienta-se o cenário de algumas cidades litorâneas brasileiras, as quais produzem uma grande diversidade de pescados e, consequentemente, enormes quantidades de resíduos. Nesse contexto, o presente estudo objetiva evidenciar a aplicabilidade das amostras puras de escamas de peixes (100% EP - recolhidas no Mercado do peixe) e cascas de coco verde (100% CC - coletadas nas praias da capital maranhense), bem como as misturas destes dois resíduos nas proporções: 75%EP:25%CC; 50%EP:50%CC e 25%EP:75%CC. Tais misturas serão empregadas nos ramos de energias renováveis e sustentabilidade como uma alternativa promissora para produção de energia térmica em processos de conversão termoquímica, além da possível opção como um destino adequado de ambos os resíduos. As propriedades físico-químicas e morfoestruturais das diferentes amostras foram avaliadas por análise elementar (AE), infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), respectivamente. Os espectros de FTIR das misturas frente às amostras puras apresentaram a predominância de compostos à base de carbono, oxigênio e hidrogênio, confirmados pela AE, os quais são relevantes para a geração de biocombustíveis (sólidos, líquidos e gasosos), mediante processos térmicos. Avaliou-se também a presença de traços de monóxido de carbono e nitrogênio na composição das misturas, sendo estes prejudiciais ao meio ambiente. As imagens de MEV das blendas, quando comparadas às amostras puras, detectaram uma desordem estrutural, a presença de uma estrutura fibrosa de cadeia alongada e superfície rugosa, com uma camada de cerídeos, ácidos graxos e alguns produtos de condensação depositados sobre a superfície amostral. Espera-se com este estudo, por meio do reaproveitamento térmico das misturas de escamas de peixes e cascas de coco verde, acrescentar novas vantagens tecnológicas no ramo da geração de bioenergia, além de reduzir o impacto socioambiental causado pelo descarte desordenado desses resíduos em locais inapropriados.

Palavras-chave: Bioenergia, Conversão Termoquímica, Blendas, Fibras.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque no mundo quanto à produção de coco verde, devido à longa extensão e grande povoamento da região litorânea. A grande procura pelo coco verde ou coco de praia reside no fato do mesmo possuir a água, um importante hidratante natural e refrescante bebida, a qual apresenta uma série de propriedades nutritivas, sendo apreciada por banhistas das praias de todo o litoral brasileiro (Martins e Jesus Jr, 2012). Em contrapartida, o alto consumo do coco verde favorece o descarte inadequado em locais inapropriados, aumentando os impactos ambientais, que é um dos problemas enfrentados pela sociedade nos tempos atuais (Colares, 2015; BBC, 2014).

Outro problema enfrentado pelas cidades litorâneas brasileiras é a geração desordenada de resíduos de peixes em locais inadequados (Silva *et al.*, 2019). Vale ressaltar que o consumo de peixes nessas regiões é uma das principais

fontes de renda e movimentação econômica, o que reforça a necessidade de descarte ou reaproveitamento adequado dos referidos resíduos (Almeida, 2008).

Nas últimas décadas, o setor de produção de bioenergia vem ganhando mais espaço nos processos de geração de energia, devido ao fato de ser uma energia limpa e renovável, além do emprego desta como uma alternativa promissora para o fim dos descartes inadequados de matérias orgânicas, as quais são abundantes em conteúdo de carbono e outros elementos indispensáveis à produção de biocombustíveis (Goldemberg e Villanueva *et al.*, 2003). Neste sentido, o presente estudo busca uma proposição inovadora e tecnológica para a reutilização das misturas de cascas de coco verde (retiradas das praias de São Luís) e escamas de peixes (coletadas no Mercado do Peixe de São Luís) para geração de energia térmica, por meio de processos de conversão termoquímica, contribuindo assim para o meio científico na procura por soluções energéticas mais sustentáveis.

Para o perfeito entendimento do potencial térmico de diferentes resíduos sólidos aplicados como biocombustíveis em processos industriais, técnicas de análises termoquímicas são necessárias. Este trabalho usou para a caracterização das amostras, as técnicas de Análise Elementar (E), Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) como forma de avaliar as propriedades físico-químicas, morfológicas e estruturas das amostras puras de escamas de peixes (100% EP) e cascas de coco verde (100% CC) e as respectivas misturas nas proporções: 75%EP:25%CC, 50%EP:50%CC e 25%EP:75%CC.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação das Amostras

O material utilizado nos experimentos foram cascas de coco verde e escamas de peixe, as cascas de coco verde utilizadas neste estudo foram coletadas na Avenida Litorânea, cidade de São Luís - Estado do Maranhão e as escamas de peixe foram recolhidas na região do Mercado Central também da cidade de São Luís (MA). O preparo das amostras foi iniciado pelo processo de três lavagens com água corrente para a remoção de impurezas, posteriormente, foram deixadas em repouso durante 24 horas para retirada do líquido em excesso, em seguida foram levadas a uma estufa (marca *Tecnal* e modelo TE-393/80L) por um período de 48 horas à temperatura de 60 °C (Figura 1), para retirar os vestígios de umidade. Na etapa de preparação (Figura 2), as cascas de coco secas foram levadas a um triturador forrageiro (marca *Trapp* e modelo TRF 400 Super), para um processo de moagem adicional, ademais, sofreram um sistema de pré-redução e foram transferidas para um moinho de facas (marca *Tecnal* e modelo TE-648), para a obtenção das partículas utilizadas nas análises, por fim, essas amostras passaram por uma seleção granulométrica em peneiras da série ASTM para determinação do tamanho médio de partículas ($\approx 328 \mu\text{m}$).

É cabível ressaltar que a etapa de preparo foi realizada por meio de uma análise bibliográfica e posteriores modificações e adequações ao método. As amostras de cascas de coco apresentaram um aspecto de umidade superior às de escamas de peixes, fazendo com que as etapas de pré-tratamento se tornassem mais duradouras e com um processo de maior rigor. A utilização de uma forrageira para pré-redução deve-se ao fato de que, diferentemente, das amostras de escamas de peixes, as cascas de coco verde apresentaram uma maior rigidez na matéria bruta composta por tecidos fibrosos.



Figura 1. Cascas de coco verde secas em uma estufa por 48 horas a 60 °C. Fonte: Os autores (2022).

Na Figura 1 são representadas as cascas de coco verde após o processo de secagem em estufa, apresentando um aspecto de dureza no envoltório das mesmas.



Figura 2. **Fibras das cascas de coco verde após o processo de moagem em uma forrageira. Fonte: Os autores (2022).**

As amostras de escamas de peixes (Figura 3) foram obtidas na região do Mercado Central de São Luís (MA), mais precisamente, no Mercado do Peixe. As escamas de peixes também passaram por um processo de lavagem, secagem em uma estufa (60 °C) por 48 horas, moagem para redução das partículas em tamanhos médios e peneiramento para o descarte de partículas com tamanhos indesejáveis. A fim de deixar essa amostra mais heterogênea, as espécies dos peixes selecionados não foram previamente definidas.



Figura 3. **Escamas de peixes (100% EP): a) após secagem e b) após moagem e peneiramento. Fonte: Os autores (2022).**

2.2. Análise Elementar (AE)

A Análise Elementar é uma técnica muito importante para a caracterização de biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, devido à associação da energia gerada, fruto da queima da mesma, com a entalpia dos elementos carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre. O teor de oxigênio contido na amostra é quantificado pela diferença dos outros elementos mencionados (Protásio, 2014).

Para essa análise foi utilizado o Analisador Elementar da marca *Perkin Elmer* e modelo 2400 CHNS-O. Este experimento foi realizado na Central de Análises Químicas Instrumentais (CAQI) do Instituto de Química de São Carlos (IQSC/USP), em São Carlos (SP).

2.3. Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

O Infravermelho por Transformada de Fourier é uma técnica utilizada para análise qualitativa de compostos orgânicos, a qual trabalha com vibrações geradas por tais compostos, provocando o aparecimento de bandas no espectro infravermelho em faixas específicas de frequência, as quais também são influenciadas pela presença de grupos funcionais próximos (Cruz, 2015). Neste sentido, esta técnica apresenta mais informações do que apenas os valores de posição e absorção de alguns picos, funcionando como uma impressão mais completa da amostra. O FTIR também

exibe excelentes resultados quantitativos, devido à proporcionalidade das intensidades de absorção das bandas no espectro em relação à concentração da mesma (Ruschel, 2014).

Os espectros foram registrados entre 4000 e 400 cm^{-1} em um espectrofotômetro da marca *Shimadzu Fourier Transform*, em modo de transmitância, localizado na Central Analítica do Departamento de Química da Universidade Federal do Maranhão. As análises foram feitas para as granulometrias de 328 μm .

2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (imagens MEV)

Nos compostos, alguns fatores como a composição química e estrutural, o formato e tamanho dos cristais e contorno de grãos são de grande importância para a determinação das propriedades físico-químicas, as quais influenciam os processos de combustão (Cruz, 2015). Nesse contexto, este trabalho apresenta imagens MEV que foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura, *Scanning Electronic Microscope* da marca *Leo Electron Microscopy* e modelo LEO440, com ampliações de 60 a 1000x, localizado na Central de Análises Químicas Instrumentais (CAQI) do Instituto de Química de São Carlos (IQSC), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos (SP), a fim de revelar tais propriedades das cascas de coco verde, escamas de peixes e as referidas blendas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Elementar (AE)

A Tabela 1 apresenta os teores de carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre obtidos pelo método de análise elementar (AE) e o conteúdo de oxigênio foi quantificado por diferença em 100% para as amostras de escamas de peixes, cascas de coco verde e as blendas destas. Para Protásio *et al.* (2011), a geração de bioenergia depende que a fibra apresente elevados teores de carbono e hidrogênio, e baixos teores de oxigênio, devido às relações destes elementos com o poder calorífico. É interessante destacar que baixos teores de oxigênio reduzem o poder calorífico de uma biomassa, em contrapartida, maiores valores de carbono e hidrogênio potencializam o poder calorífico (Nordin, 1994; Huang *et al.*, 2009; Protásio *et al.*, 2011). Esses compostos são essenciais para a produção de biocombustíveis sólidos.

Tabela 1. Análise Elementar (AE) das amostras de cascas de coco, escamas de peixes e as respectivas blendas.

Biomassas	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)
100% CC	42,87±0,00	5,08±0,00	0,79±1,80	0,02±0,00	51,26±0,00
75%CC:25%EP	38,61±0,00	4,82±0,00	3,80±1,40	0,09±0,00	52,68±0,00
50%CC:10%EP	36,20±0,00	4,70±0,00	6,35±1,50	0,17±0,00	52,58±0,00
25%CC:75%EP	32,61±0,00	4,70±0,00	8,90±1,40	0,32±0,00	53,47±0,00
100% EP	20,32±0,00	3,52±0,00	6,31±1,30	0,79±0,00	69,06±0,00

Fonte: Os autores (2022).

Os valores observados para as composições elementares das amostras isoladas de cascas de coco verde demonstraram-se semelhantes aos encontrados por Melo (2014) para o bagaço de cana-de-açúcar, os quais foram 44,97% para carbono, 6,12% para hidrogênio, 44,65% para oxigênio, 0,76% para nitrogênio e 0,33% para enxofre. Para Rodrigues (2018), os baixos teores de nitrogênio e enxofre são indicadores de uma biomassa menos poluente, com escórias reduzidas quando aplicada em processos de combustão.

Para as amostras de 100% EP, os valores encontrados para o carbono, hidrogênio e nitrogênio, foram próximos aos encontrados por Santos (2008), que ao estudar escamas de peixe da espécie piau (*Leporinus obtusidens*), obteve valores de 20,16% para carbono, 3,37% para hidrogênio e 6,81% para nitrogênio. Os valores de oxigênio foram próximos aos encontrados por Silva *et al.* (2019), na faixa de 70%, que juntamente aos teores de carbono encontrados, representa uma baixa densidade energética para as escamas de peixes, já que maiores valores de oxigênio e hidrogênio em relação ao carbono reduzem o potencial energético pela queda das energias contidas nas ligações C-O e C-H (Silva *et al.*, 2019).

É interessante destacar que com o aumento das proporções de escamas de peixes nas blendas, classificadas como 75%EP:25%CC, 50%EP:50%CC e 25%EP:75%CC, percebeu-se um crescimento dos valores dos conteúdos de nitrogênio e oxigênio, além dos teores de enxofre, todavia as proporções dos elementos poluentes permaneceram dentro dos valores esperados ou de referências. De acordo com Telmo (2010), o qual apresentou um estudo a respeito do poder calorífico da madeira, espera-se que em uma análise elementar de uma biomassa lignocelulósica, faz-se necessário que os teores de hidrogênio sejam de 5,6 a 7,0%; oxigênio de 40,0 a 44,0%; nitrogênio de 0,1 a 0,5% e enxofre próximo a 0,1%, valores estes que estão próximos aos identificados pelas blendas de escamas de peixes e cascas de coco verde deste estudo.

Em relação aos conteúdos de hidrogênio e nitrogênio, identificou-se uma proporção indireta, visto que à medida que a proporção de escamas de peixes apresentava um aumento, os teores de nitrogênio cresciam e os de hidrogênio reduziam. Estes teores estão relacionados à presença de colágeno, um elemento predominante e constituinte nas estruturas das amostras de peixes.

Em suma, sabe-se que a quantidade de enxofre envolvida em um processo de combustão, busca a redução da concentração na busca pela formação de uma fonte energética limpa, ou seja, sem a emissão de gases que provocam o efeito estufa (Cruz, 2015).

3.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (imagens MEV)

As imagens obtidas por meio da microscopia eletrônica de varredura foram empregadas para determinar as características quanto à morfologia e ao aspecto superficial das amostras puras e blendas de cascas de coco verde e escamas de peixes nas proporções de 75%EP:25%CC, 50%EP:50%CC e 25%EP:75%CC. As imagens foram obtidas por três ampliações diferentes (60, 500 e 1000 vezes), as quais são apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6, respectivamente.

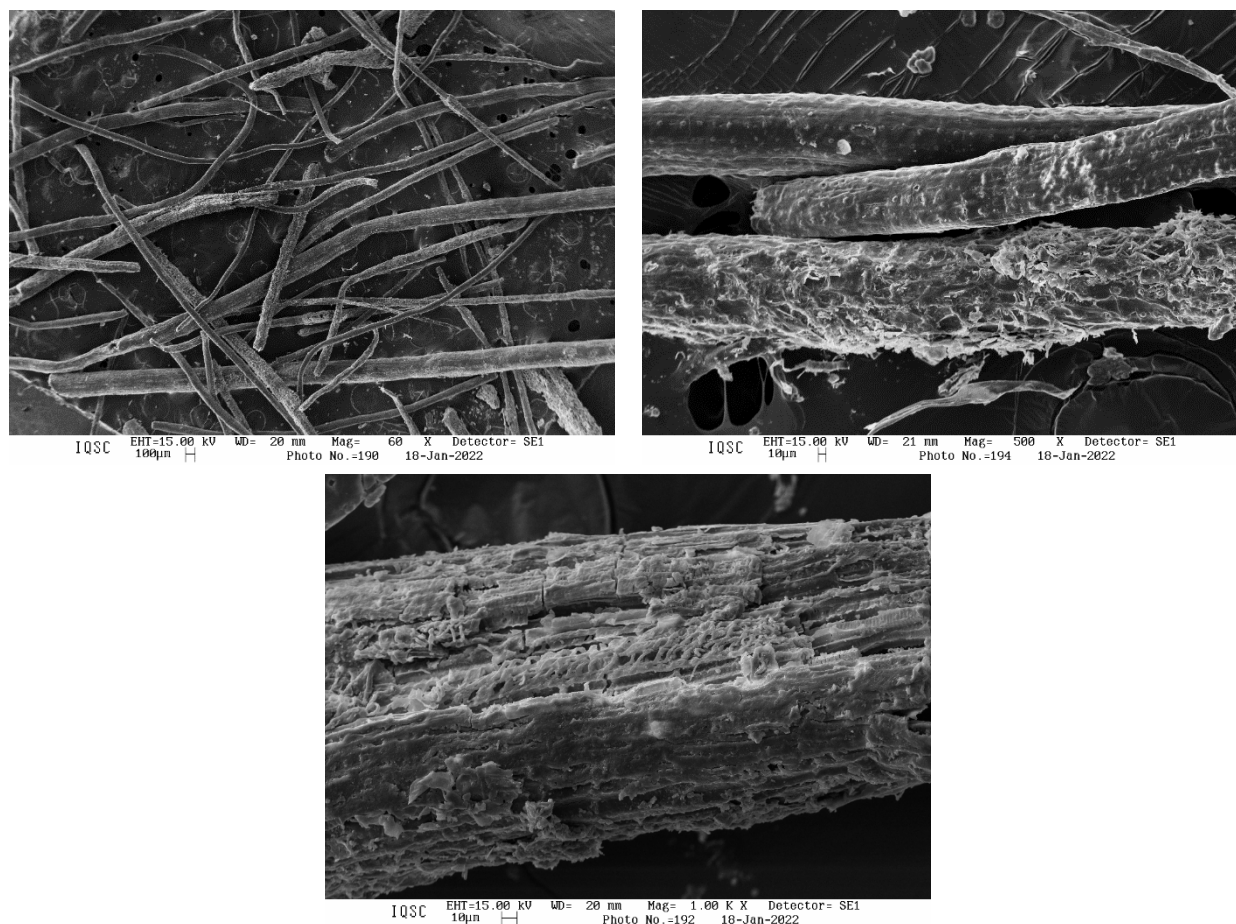


Figura 4. Micrográficos de MEV para as amostras de 100% cascas de coco verde com magnitudes de: a) 60, b) 500 e c) 1000 vezes. Fonte: Os autores (2022).

A Figura 4 (100% CC) apresenta resultados semelhantes aos obtidos por Teixeira (2020), que ao analisar as imagens de MEV de cascas de coco verde *in natura* para a obtenção e caracterização de uma fonte energética, notou a ausência de poros e espaços vazios superficiais, destacando o cenário como um indicativo de uma área superficial específica menos acessível no material. A fragmentação e o aspecto rugoso apresentados para essas amostras, possivelmente, foram uma consequência do processo de moagem durante a etapa de preparação das referidas amostras (Cruz, 2015).

As imagens de MEV das cascas de coco verde *in natura* (Figura 4) também foram compatíveis com os resultados constatados por Azevedo (2008), o qual notou a presença de uma morfologia porosa, facilitando desta forma a remoção dos metais em efluentes, devido esta apresentar uma superfície irregular, permitindo a adsorção dos metais nos cruzamentos presentes no material. Na micrografia da Figura 4, também foi notada a presença de pequenos orifícios distribuídos ao longo das fibras naturais, chamados de “pits”, fossos ou buracos, os quais são responsáveis por transportar água e nutrientes para as palmeiras que produzem os frutos de coco verde. É interessante destacar que os

“pits” quanto empregados para reforço à resistência mecânica, auxiliam na ancoragem mecânica da fibra lignocelulósica com a matriz polimérica e estão presentes na maioria das fibras naturais (Benini, 2011).

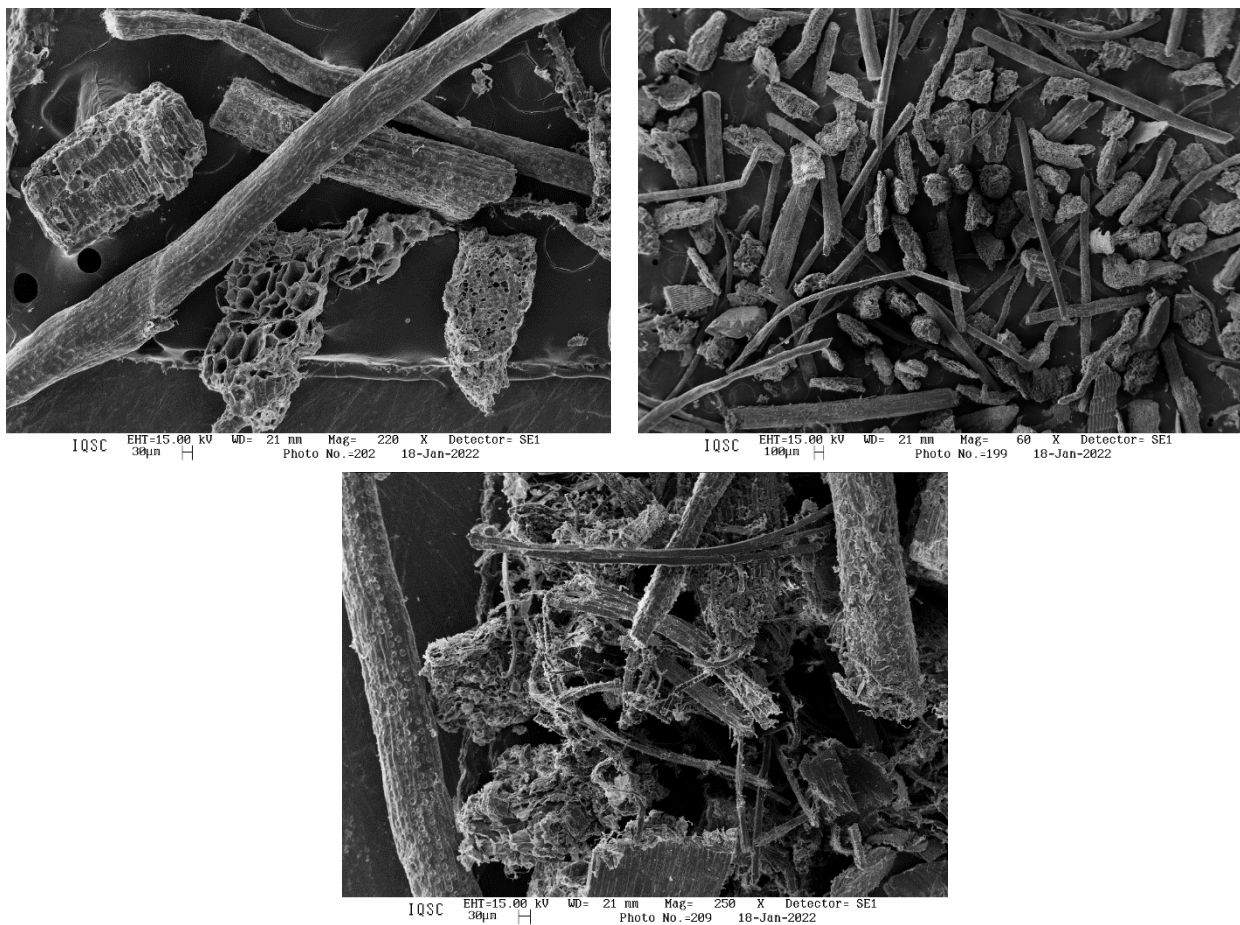
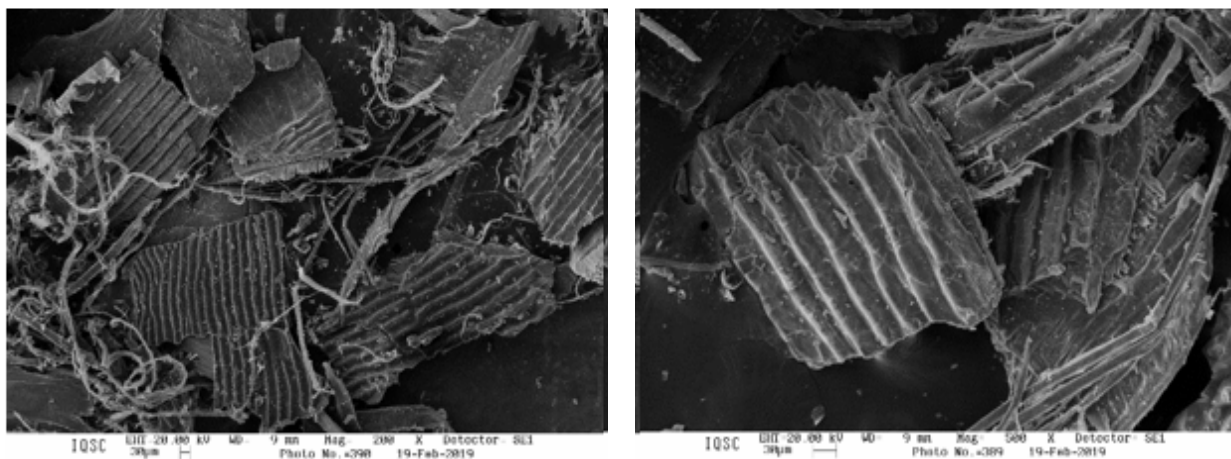


Figura 5. Micrografias de MEV para as misturas de cascas de coco verde e escamas de peixes: a) 75%CC:25%EP, b) 50%CC:50%EP e c) 25%CC:75%EP. Fonte: Os autores (2022).

A Figura 5 mostra as imagens de MEV para as blendas de cascas de coco verde e escamas de peixes nas proporções supramencionadas, que apresentaram um aspecto quebradiço com formato cilíndrico. Ademais, é possível identificar por meio das ampliações fornecidas a capacidade de miscibilidade dos materiais proporcionados por substâncias como o colágeno e hidroxiapatita, presente nas escamas de peixes (Silva *et al.*, 2019).



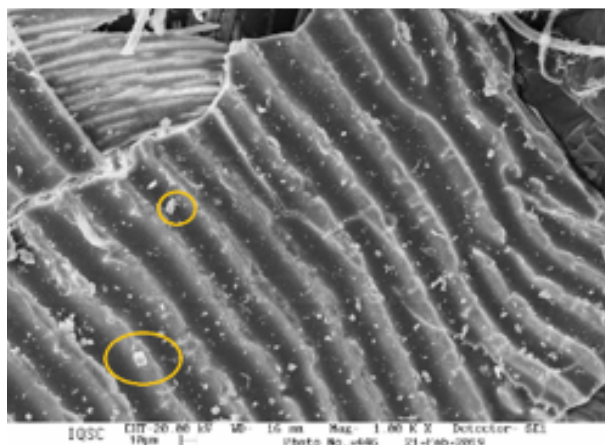


Figura 6. Micrografias de MEV para as amostras de escamas de peixes (100% EP). Fonte: Os autores (2022).

As imagens do MEV representadas na Figura 6 (100% EP) exibiram uma morfologia composta por alguns cristais e materiais dispersos sobre as superfícies. Essas estruturas cristalinas com aparência hexagonal (círculos amarelos) reafirmaram a presença do mineral, o qual é denominado de hidroxiapatita, características principais das estruturas que compõem as escamas de peixes (Silva *et al.*, 2019).

3.3. Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A partir dos espectrômetros de infravermelho apresentados na Figura 7, foram identificados os principais grupos funcionais presentes nas amostras de cascas de coco verde, escamas de peixes e as respectivas blendas, e estes estão exibidos na Tabela 2. Os espectros de infravermelho das amostras demonstraram absorções semelhantes, porém com algumas variações nas intensidades.

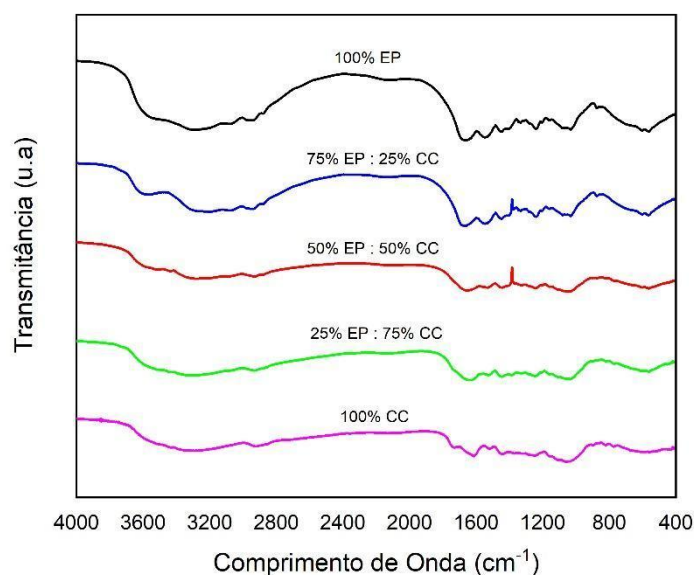


Figura 7. Espectrômetros de Infravermelho por Transformada de Fourier para as amostras de 100% cascas de coco, 100% escamas de peixes e as misturas destas nas diferentes proporções. Fonte: Os autores (2022).

Os picos de absorção da região entre 3300 e 3480 cm^{-1} correspondem à frequência de estiramento NH, normalmente essas vibrações acontecem em faixas entre 3400 e 3440 cm^{-1} , mas, possivelmente, devido à ligação de hidrogênio com um peptídeo, acabou ocorrendo um deslocamento para menores valores de bandas como 3300 cm^{-1} (Bhagwat e Dandge, 2016; Paul *et al.*, 2017; Veeruraj *et al.*, 2013). As bandas de absorção localizadas por volta de 3327 cm^{-1} são atribuídas às ligações OH (Rigo *et al.*, 2007; Santos, 2008). A banda entre 2920 e 2950 cm^{-1} foi detectada com mais intensidade nas amostras de 100%EP e 75%EP:25%CC, a qual corresponde à presença da ramificação alifática do hidrocarboneto C-H (Zhu *et al.*, 2008). Os picos encontrados em 1737, 1658 e 1612 cm^{-1} , são encontradas isoladamente em ordem, representando as ligações duplas de C=O de aldeídos (100% CC), C=C (100% EP) e C=O (100% CC), respectivamente (Stuart, 2004) e tais compostos foram identificados em todas as proporções das misturas.

A região que abrange os picos de 1247, 1160 e 1037 cm^{-1} corresponde à ligação C-O dos grupos carbonatos de ácido carboxílico, de ésteres e éteres, encontrados nas amostras de 100% CC. Entretanto, o pico em torno de 1236 cm^{-1} somente foi encontrado na amostra de 100% EP e pode corresponder à ligação C-N de compostos alifáticos (Silva *et al.*, 2019).

Tabela 2. Grupos funcionais das amostras de cascas de coco, escamas de peixes e as respectivas blendas.

Grupos Funcionais	Comprimento de Onda (cm^{-1})				
	100% CC	75%CC:25%EP	50%CC:50%EP	25%CC:75%EP	100% EP
NH	3305	3307	3311	3312	3309
OH	3327	3329	3326	3331	3330
C-H	2922	2941	2945	2950	2962
C=O	1737	1739	1740	1741	1742
C=C	1658	1657	1659	1660	1670
C-O	1247	1245	1244	1248	1250
C-N	1160	1162	1161	1158	1157

Fonte: Os autores (2022).

Os hidrocarbonetos e compostos orgânicos detectados nas amostras foram confirmados por meio da Análise Elementar ao detectar quantidades de carbono, hidrogênio e oxigênio, os quais garantem às biomassas estudadas um alto potencial para aplicação como biocombustível sólido em processos de conversão termoquímicos.

4. CONCLUSÃO

Este estudo avaliou as propriedades físico-químicas, morfológicas e estruturais das amostras puras (cascas de coco verde e escamas de peixes) e misturas destas, por meio de Análise Elementar (AE), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), com o intuito de posterior utilização em processos termoquímicos para produção de energia térmica. Ressalta-se que este projeto apresentou um método de destino adequado para uma parcela dos resíduos sólidos na região litorânea da capital maranhense, destacando a importância deste para o reaproveitamento viável no ramo das energias renováveis.

A Análise Elementar (AE) permitiu a identificação dos principais elementos presentes nas amostras, identificando os grandes teores de carbono e oxigênio em todas as amostras puras e misturas. Ademais, foram encontradas substâncias como hidrogênio, nitrogênio e enxofre com parcelas diferentes e favoráveis aos níveis aceitáveis de emissão de gases poluentes (N e S), além de uma possível previsão do potencial energético.

Mediante as imagens do MEV, possibilitou-se o conhecimento da estrutura morfológica dos resíduos empregados, bem como a influência no potencial gerador de energia dessas amostras. Nesse sentido, notou-se que as amostras apresentaram um aspecto rugoso e com fibras soltas ao longo da superfície, com destaque para a desordem e o formato amorfo da estrutura. Além disso, foram identificados pequenos orifícios ao longo das fibras naturais, denominados “pits”, responsáveis pelo transporte de nutrientes para o composto lignocelulósico.

Por meio da espectroscopia de Infravermelho foi possível classificar os principais compostos das matérias orgânicas presentes nas biomassas estudadas, bem como os principais grupos funcionais integrantes da composição, sendo estes resultados conclusivamente satisfatórios, uma vez que apresentaram características padrões de fontes bioquímicas para o setor de biocombustíveis. As bandas e os respectivos níveis de absorção possibilitaram uma análise mais abrangente da influência de tais grupos funcionais na composição das blendas, apresentados tanto para as misturas de grandes e pequenas proporções de ambos os materiais empregados.

Em suma, este projeto apresentou, por meio da mistura de dois resíduos característicos tanto culturalmente como territorialmente do litoral maranhense, uma fonte alternativa de energia renovável no ramo do aproveitamento alimentar. Os processos apresentados foram realizados com base em estudos literários e experimentais, com foco para uma metodologia objetiva e eficaz. O processo de combustão, com foco na biomassa apresentada, além da eficácia, é tido como um dos mais adequados à proposta socioambiental, sendo apresentada como sugestão a aplicabilidade prática deste estudo para a utilização destas fontes na geração de energia térmica, limpa e renovável.

5. REFERÊNCIAS

- Almeida, Z. S. *Os recursos pesqueiros marinhos e estuarinos do Maranhão: biologia, tecnologia, socioeconômica, estado da arte e manejo*. Universidade Federal do Pará - Museu Paraense Emílio Goeldi, 286 p, 2008.
- Azevedo, B. S. M; Rizzo, A. C. L; Reicheald, D; Walchan, G. M; Sobral, L. G. S; Leite, S. G. F; *Utilização de fibra da casca do coco verde como suporte para a formação de biofilme visando o tratamento de efluente*. Iniciação Científica. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. CETEM/ MCT. Rio de Janeiro - RJ, 2008.
- Benini, Kelly Cristina Coelho de Carvalho. *Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra de casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar*. 2011.
- Bhagwat, P.K., Dandge, P.B., 2016. *Isolations, characterization and valorizable applications of fish scale collagen in food and agriculture industries*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 7, 234-240.
- BBC Brasil. *Indústria do coco verde cresce, mas o desperdício gera desafio tecnológico*. Fevereiro, 2014. Disponível: <<https://www.bbc.com>>. Acesso: 13.04.2021.
- Colares, D. *Propostas para o aproveitamento do potencial da casca de coco verde*. EMBRAPA, 2015. Disponível: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso: 13.04.2021.
- Cruz, G. *Características físico-químicas de biomassas lignocelulósicas e a correlação entre suas emissões e os resíduos gerados sob diferentes condições atmosféricas em um forno tubular de queda livre (DTF)*. 2015. 273 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- Goldemberg, J. & Villanueva, L. D. *Energia, Meio ambiente & Desenvolvimento*. Tradução de André Koch. 2. ed. rev. São Paulo: Edusp, p.74-95, 2003
- Huang, C.Y., Kuo, J.M., Wu, S.J., Tsai, H.T., 2016. Isolation and characterization of fish scale collagen from tilapia (*Oreochromis sp.*) by a novel extrusion-hydro extraction process. Food Chemistry 190, 997–1006.
- Kodama, Y. *Avaliação dos efeitos da radiação ionizante em compósitos de PCL/PLLA com fibra de coco*. Tese (doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo, 2011.
- Martins, C. R.; Jesus Jr, L. A. *Produção de coco no Estado de Sergipe frente à expansão da cultura do coco no Nordeste e Brasil*. In: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2012. Bento Gonçalves (RS).
- Melo, C.E., Ropke, C.P., 2004. *Alimentação e distribuição de piaus (Pisces anastomidae) na Planície do Bananal, Mato Grosso, Brasil*. Revista Brasileira de Zoologia 21, 51-56.
- Nordin, A. *Chemical and elemental characteristics of biomass fuels*. Biomass and Bioenergy, v. 6, n. 5, p. 339-347, 1994.
- Paul, S., Pal, A., Choudhury, A.R., Bodhak, S., Balla, V.K., Sinha, A., Das, M., 2017. *Effect of trace elements on the sintering effect of fish scale derived hydroxyapatite and its bioactivity*. Ceramics International 43, 15678-15684.
- Protásio, T. P. et al. *Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal*. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 31, n. 1, p. 113-122, 2011.
- Rigo, E.C.S., Gehrke, S.A., Carbonari, M., 2007. *Síntese e caracterização de hidroxiapatita obtida pelo método da precipitação*. Revista Dental Press Periodontia Implantol 1 (3), 39-50.
- Rodrigues, D. S. *Densificação de caroços de açaí: caracterização e efeito das condições de processamento*. Dissertação (Mestrado em Energia) Universidade Federal do ABC, Santo André, 2018.
- Ruschel, Carla Felippi Chiella et al. *Análise exploratória aplicada a espectros de reflexão total atenuada no infravermelho com transformada de Fourier (ATR-FTIR) de blendas de biodiesel/diesel*. Química Nova, v. 37, n. 5, p. 810-815, 2014.
- Santos, E.B., 2008. *Caracterização de escamas do peixe Piau (Leporinus elongatus) e sua aplicação na remoção de íons Cu (II) em meio aquoso*. Universidade Federal de Sergipe, 90 p.
- Silva, A. V. S., Torquato, L. D. M., & Cruz, G. (2019). *Potential application of fish scales as feedstock in thermochemical processes for the clean energy generation*. Waste Management, v. 100, p. 91-100, 2019.
- Stuart, B. *Infrared spectroscopy: fundamentals and applications*. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
- Telmo, C., Lousada, J., Moreira, N., 2010. *Proximate analysis, backwards step wise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood*. Bioresource Technology 101 (11), 3808-3815.
- Veeruraj, A., Arumugam, M., Balasubramanian, T., 2013. *Isolation and characterization of thermostable collagen from the marine eel-fish (Eenchelys macrura)*. Process Biochemistry 48 (10), 1592-1602.
- Zhu, H. M. et al. *Study on pyrolysis of typical medical waste materials by using TG-FTIR analysis*. Journal of Hazardous Materials, v. 153, n. 1, p. 670-676, 2008. ISSN 0304-3894.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

PHYSICOCHEMICAL AND MORPHOLOGICAL EVALUATION OF MIXTURES (FISH SCALES AND COCONUT SHELL) FOR THERMAL ENERGY PRODUCTION

Ayrton Pablo Raiol Monroe, ayrton.pablo@discente.ufma.br^{1*}

Mariana da Silva Melo, melo.mariana@discente.ufma.br²

Jefferson Rodrigues Ferreira, jefferson.rodrigues@discente.ufma.br¹

Julie Brenda Santos da Silva, julie_brenda@hotmail.com³

Glauber Cruz, cruz.glauber@ufma.br^{1,3}

¹ Federal University of Maranhão, Department of Mechanical Engineering, Avenida dos Portugueses, 1966, Bacanga, São Luís (MA).

² Federal University of Maranhão, Department of Chemical Engineering, Avenida dos Portugueses, 1966, Bacanga, São Luís (MA).

³ Federal Institute of Maranhão, Post-Graduate Program in Mechanical Engineering, Department of Mechanics and Materials, Avenida Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, São Luís (MA).

Abstract. Brazil is the fourth largest producer of green coconut or beach coconut in the world. However, such a scenario contributes to the inappropriate disposal of coconut husks, causing socioenvironmental problems, as well as contamination of soils, surface and groundwater. At the same time, the scenario of some Brazilian coastal cities is highlighted, which produce a great quantity and diversity of fishes and, consequently, large amounts of waste. In this context, the present study aims to demonstrate the feasibility of applying pure samples of fish scales (100% FS - collected at the Fish Market) and green coconut shells (100% CS - collected on the beaches from São Luís - Maranhão), as well as the mixtures of these two residues in proportions: 75%FS:25%CS; 50%FS:50%CS and 25%FS:75%CS. Such mixtures will be used in the fields of renewable energy and sustainability as a promising alternative for the thermal energy production in thermochemical conversion processes, in addition to the possible option as a suitable destination for both residues. The physicochemical and morphostructural properties of the different samples were evaluated by ultimate analysis (UA), Fourier transform infrared (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM), respectively. The FTIR spectra of the mixtures against the pure samples showed a predominance of compounds based on carbon, oxygen and hydrogen, confirmed by the UA, which are relevant for the biofuels generation (solid, liquid and gaseous) through thermal processes. The presence of traces of carbon monoxide and nitrogen in the composition of the mixtures was also evaluated, which are harmful to the environment. The SEM images of the blends, when compared to the pure samples, detected a structural disorder; presence of a fibrous structure with an elongated chain and roughness surface, with a wax layer, fatty acids and some condensation products deposited on the sample surface. It is expected with this study, through the thermal reuse of mixtures of fish scales and green coconut shells, to add new technological advantages in the field of bioenergy generation, in addition to reducing the socioenvironmental impacts caused by disorderly disposal of these residues in inappropriate places.

Keywords: Bioenergy, Blends, Fibers, Thermochemical Conversion.