

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Etec Prof. Dr. José Dagnoni
Química

OBTENÇÃO DA ESPUMA DE ALTA DENSIDADE A PARTIR DA INSERÇÃO DE
FIBRAS DA *Musa acuminata cavendishii*

Ana Luisa Cuppi Gama;
analisacuppigama@gmail.com

Beatriz Silva Donegá;
beatrizsilvadonega@gmail.com

João Vitor Marques Patricio;
jvpatricio00@gmail.com

Lohana Alexandra Fernandes;
lohana.alexandra2829@gmail.com

Vanessa de Cássia Romagnoli;
vanessaromagnoli28@gmail.com

Victor Wilquer Sousa Matias.
matiasvictor86@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho, foi realizado com o objetivo do aproveitamento dos resíduos gerados pela produção de banana no Brasil, para auxiliar na redução da dependência de produtos não renováveis e a minimização do acúmulo de poliuretano na produção de espuma. No Brasil a produção de banana ocupa o quarto lugar em termos de quantidade, tornando-se um dos maiores produtores de banana do mundo. A produção de banana acarreta uma quantidade considerável de resíduos, sendo que a cada tonelada colhida da fruta, é gerada aproximadamente quatro toneladas de resíduos, trazendo assim para as plantações problemas como excesso de material orgânico no solo e aparecimento de pragas, portanto, diante da necessidade de inovação de tecnologias sustentáveis, o aproveitamento dos resíduos da bananeira para a obtenção desta fibra se torna economicamente e ambientalmente viável, tendo em vista que ela teve uma boa agregação a espuma de poliuretano dando a ela algumas propriedades como densidade.

PALAVRAS-CHAVE: Pseudocaule; Bananeira; Fibra; Espuma.

1. INTRODUÇÃO

A bananeira (*Musa sp.*) oriunda do sudoeste asiático, pertence à família *Musaceae*, é uma planta presente nas regiões tropicais úmidas, ela é um vegetal herbáceo completo, que apresenta raiz, tronco, folhas, flores, frutos e sementes. O caule é um rizoma subterrâneo, de onde partem as raízes e as folhas, essas contêm bainhas robustas que sobrepostas umas nas outras, formam o pseudocaule. No centro do pseudocaule percorre um tecido desde o rizoma chamado palmito, conhecido como pedúnculo da inflorescência (VALOIS, 2010 *apud* ZEFERINO *et al.*, 2017).

Segundo a Embrapa a banana é a fruta mais consumida no mundo e no Brasil, esse é o quarto maior produtor com 6,6 milhões de toneladas em 445 mil hectares, cultivada por grandes, médios e pequenos agricultores em 26 estados, o país é o maior consumidor mundial da fruta.

A colheita da banana é possível de 11 a 13 meses em regiões de clima tropical e nas áreas irrigadas, em clima subtropical e sem irrigação a colheita ocorre de 15 a 18 meses, já em regiões mais frias ocorre de 21 a 24 meses, dessa colheita são geradas aproximadamente 4 toneladas de resíduos por tonelada da fruta colhida, onde o pseudocaule é o que mais agrega em termos de peso, correspondendo a aproximadamente 75% da massa total de resíduos gerados (LIMA, 2021).

O pseudocaule tem que ser cortado logo após a colheita do fruto, já que cada bananeira produz fruto uma única vez. O resíduo gerado nesse processo é grande, pois sua produção ocorre de forma rápida. Após a colheita uma parte desses resíduos devem ser cortados em pequenos pedaços e devolvidos ao solo para adubação, porém o excesso desses materiais ocasionam a aparição de uma praga chamada broca-do-rizoma ou moleque-da-bananeira (*Cosmopolites sordidus*), um besouro de coloração negra que mede aproximadamente 11mm de comprimento e 5mm de largura. As larvas desse besouro se alimentam dos tecidos do pseudocaule e do rizoma, sem um controle adequado causam perda de peso dos cachos, secagem das folhas e a morte total da planta, deixando também a planta vulnerável ao ataque de outros agentes patogênicos como o mal do Panamá (ALVAREZ PUENTE, 2020).

1.1. Espuma de Poliuretano

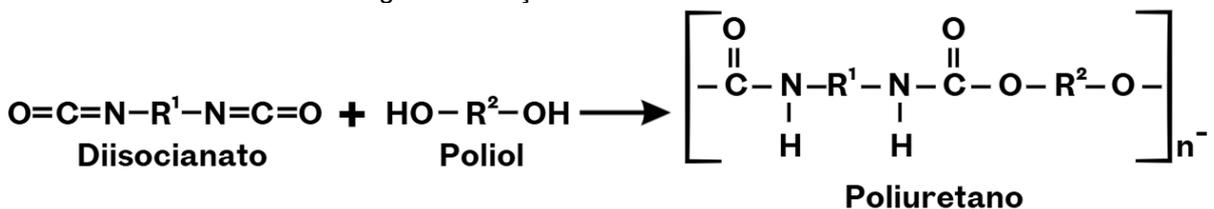
O poliuretano (PU) forma uma classe de polímeros com uma grande

versatilidade em se obter materiais com propriedades físicas e químicas diferentes, é considerado um dos principais polímeros da última década (CANGEMI; SANTOS; CLARO, 2009).

A espuma de poliuretano é um produto formado a partir da reação química entre o isocianato e polioliol, que devem ser selecionados de acordo com as propriedades desejadas do produto. Ela pode ser produzida em uma ampla faixa de densidades variando o grau de dureza. É um material usado em grande escala pelas indústrias, dentre elas a automotiva e de colchões, pois apresentam maior resistência a degradação quando comparado com espumas baseadas em látex natural (VILAR, 1998).

A polimerização de um diisocianato com reagentes que possuem hidrogênios ativos, como o polioliol, formam uma rede tridimensional poliuretânica, que ao reagir com a água produzem o gás carbônico, se tornando os principais responsáveis pela formação de espuma de poliuretano, sendo com o auxílio de outros reagentes, como surfactantes, catalizadores e agentes de expansão auxiliares (MACEDO *et al*, 2017).

Figura 1: Reação de síntese do Poliuretano



Autor: CANGEMI, 2009

As principais propriedades específicas da espuma (densidade, resistência à compressão e rigidez) podem ser alteradas com a adição de cargas, comumente são utilizados o sulfato de bário, carbonato de cálcio ou reagentes químicos de origem não renovável como derivados do petróleo. O interesse de fibras naturais, como a fibra da bananeira, cresceu consideravelmente, principalmente por seu potencial de substituição a fibras inorgânicas. O uso de cargas de origem vegetal, apresentam vantagens visto que, além de serem renováveis, apresentam grupos hidroxilas em sua superfície que podem formar ligações de hidrogênio com o grupo isocianato do poliuretano, tornando-as quimicamente compatíveis com a composição (MACEDO *et*

al, 2017).

A fibra da bananeira foi testada como componentes alternativos em compósitos com o intuito de aperfeiçoar propriedades de polímeros, devido à presença de grupos hidroxilas, os quais podem se ligar a outras moléculas. As fibras naturais são suscetíveis a modificação química, acarretando uma melhora nas características superficiais delas, tais como adesão, molhabilidade, tensão superficial ou porosidade. O tratamento alcalino é o mais utilizado no preparo de fibras naturais por conta do seu baixo custo, assim como a utilização das fibras que além de terem um baixo custo são mais rentáveis por serem renováveis e proveniente de resíduos agrícolas (CLÍMACO; BECKER; BALZER, 2009).

2. PROBLEMA

A cultura da banana (*Musa sp.*) é responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos de material vegetal. O destino não adequado dos resíduos excedentes podem favorecer a ocorrência de problemas ambientais e fitossanitários.

3. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo investigar o potencial de densidade que pode ser oferecido na fibra do pseudocaule da bananeira, a fim de valorizar estudo que utilize resíduos agroindustriais, que venham a contribuir para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

3.1. Objetivos Específicos

Este trabalho, visa a produção de uma espuma com agregação de material orgânico (fibra), utilizando o pseudocaule da bananeira para ganho de densidade, o que leva a diminuição de custos em possíveis produções.

4. METODOLOGIA

4.1. Coleta da Matéria-Prima

No desenvolvimento deste trabalho utilizou-se os pseudocaulos de bananeiras do tipo Nanica (*Musa acuminata cavendishii*) (Figura 2.A), oriundas de uma região vegetativa da cidade de Santa Bárbara d'Oeste, interior de São Paulo.

A coleta e preparação das amostras aconteceram conforme a necessidade de

novos experimentos (Figura 2.B), retiradas de um mesmo solo. Realizou-se cortes horizontais ao longo do pseudocaule (Figura 2.C).

Figura 2: A) Bananeira B) Corte do pseudocaule da bananeira C) Pseudocaule após coleta



Autor: Autoria Própria

4.2. Preparação das fibras do pseudocaule

Lavou-se o pseudocaule (Figura 3.A) para sanar as impurezas e cortou-se em cubos pequenos (Figura 3.B), os quais foram submersos em uma solução de NaOH de pH 12 (Figura 3.C), e levados ao aquecimento (Figura 4.A), manteve-se no fogo por 1 hora e 30 minutos, após a fervura. Decorrido este tempo, lavou-se os pedaços de pseudocaule com água corrente por diversas vezes (Figura 4.B), até que a base fosse retirada ao máximo, e que o pH ficasse próximo de 7,0.

Figura 3: A) Lavagem da amostra B) Corte do pseudocaule em cubos C) Checagem do pH



Autor: Autoria Própria

Figura 4: A) Amostra já submersa em fervura B) Coagem após fervura



Autor: Autoria Própria

Levou-se a estufa durante sete dias ininterruptos à 40°C (Figura 5.A) para a retirada da umidade da fibra (Figura 5.B), e então submeteu-se ao liquidificador e triturou-se até obter-se o pó de sua fibra (Figura 5.C).

Figura 5: A) Indicador de temperatura da estufa B) Amostra após secagem C) Pó após trituração



Autor: Autoria Própria

4.3. Produção da Espuma

Para a produção da espuma, necessitou-se de um recipiente, onde adicionou-se o Polioli, fibra de bananeira triturada e solução de estanho, então realizou-se a agitação com o auxílio de um batedor mecânico de hélice por 40 segundos. Em seguida, acrescentou-se o ASA (água, silicone e amina) e novamente agitou-se por mais 20 segundos. Feito isso, incorporou-se o ISO (Tolueno diisocianato), agitou-se

por 6 segundos e despejou-se no molde descansando por 3 minutos. Decorrido esse tempo, levou-se o molde a estufa a uma temperatura de 90°C por 5 minutos. Posteriormente retirou e aguardou-se resfriar, então removeu-se do molde e realizou-se o corte.

A produção da espuma necessita ser feita dentro da capela, tendo em vista que após a adição do diisocianato e da água e gerado pela reação a liberação do gás carbônico. Realizou-se também a produção da espuma sem a adição da fibra a modo de comparativo.

Figura 6: A) Espuma com Fibra de Bananeira B) Espuma para comparação



Autor: Autoria Própria

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Umidade da Fibra

VALLADARES et al. (1978) afirmaram que o pseudocaule geralmente contém cerca de 93% de água e 7% de material sólido e que 40% dos materiais sólidos são constituídos por fibras de celulose (SILVA, 1998).

Para nossas análises pesamos 200g do Pseudocaule da Bananeira cortado em cubos (Figura 6.A) e colocamos na estufa a 40°C por 3 dias ininterruptos, após sua retirada pesamos a massa, depois da evaporação quase total da água presente no Pseudocaule, resultou em 24,32g (Figura 6.B).

Figura 8: A) Fibra in natura B) Fibra dissecada C) Análise da umidade da fibra seca



Autor: Autoria Própria

$$Umidade: \frac{Mi - Mf}{Mi} \times 100 \rightarrow Umidade: \frac{200g - 24,32g}{200g} \times 100 \rightarrow Umidade: \frac{175,68g}{200g}$$

$$\rightarrow Umidade: 0,8784 \times 100 \rightarrow \mathbf{Umidade: 87,84\%}$$

Posteriormente a realização dos cálculos captamos a perda de 87,84% de água presente na amostra inserida na estufa. Para um melhor resultado verificamos a umidade ainda presente na fibra, que após a trituração da mesma constatou a presença de 5,1% de umidade (Figura 6.C). Ao unirmos o resultado da porcentagem evaporada na estufa e a porcentagem ainda presente na fibra averiguamos que o resultado total ficou próximo da porcentagem de água presente no pseudocaule da bananeira segundo VALLADARES et al. (1978).

$$Umidade Total = 87,84 + 5,1 \rightarrow \mathbf{Umidade Total = 92,94\%}$$

5.2. Síntese da Espuma de Poliuretanos

Com o estudo das primeiras fibras produzidas e adicionadas a EPU ficou evidente que para um possível ganho de densidade seria necessária uma quantia maior de amostra, pois notou-se que a espuma com e sem fibra apresentaram a mesma densidade.

Após a capitação de mais amostras, a fibra foi introduzida em maior quantidade ao sistema, que não apresentou sucesso por um possível erro de processo, em que não foi aguardado o tempo necessário para que a espuma pudesse esfriar, e ao tirá-la do molde houve um notável murchamento da mesma.

Por tanto, após análises e reformulações obtivemos um resultado mais satisfatório, onde notou-se uma evidente diferença entre densidade e fluxo de ar na espuma produzida com e sem fibra.

A densidade representa a quantidade de espuma que foi aplicada por m³ do produto, interferindo diretamente na firmeza do material ao aplicar determinado peso sobre ele, ou seja, quanto mais baixa a densidade, menos firme é a espuma.

$$Densidade = \frac{massa (Kg)}{Vomume (m^3)} \text{ onde, } Volume = Comprimento \times largura \times altura$$

Tabela 1: Medidas das amostras de espuma

AMOSTRA	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	LARGURA (m)	PESO (Kg)
Sem Fibra	0,224	0,049	0,22	0,0501
Com Fibra	0,217	0,049	0,22	0,06072

$$Volume_{EPU} = 0,217m \times 0,049m \times 0,22m \rightarrow Volume_{EPU} = 0,00230633m^3$$

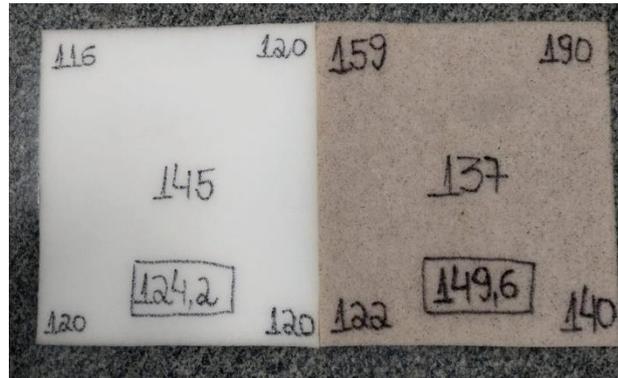
$$Volume_{EPUF} = 0,223m \times 0,049m \times 0,22m \rightarrow Volume_{EPUF} = 0,00240394m^3$$

$$Densidade_{EPU} = \frac{0,0501}{0,00241472} = 20,74 \text{ Kg/m}^3$$

$$Densidade_{EPUF} = \frac{0,06072}{0,00230633} = 26,32 \text{ Kg/m}^3$$

A mistura dos reagentes para a produção da espuma acarreta um processo exotérmico onde ocorre a liberação de calor, produzindo gás carbônico que age para expansão da espuma, com a finalização é feito a medida do fluxo de ar, que pode interferir na qualidade dela, pois o baixo fluxo de ar resulta em uma espuma de baixa qualidade, como também uma recuperação lenta após a compressão e em alguns casos, causando o encolhimento dos blocos de espuma. Para melhor análise mediu-se através de um medidor de fluxo de ar de espuma, onde obtivemos os seguintes resultados:

Figura 9: Medidas de Fluxo de Ar



Autor: Autoria Própria

$$\text{Fluxo de Ar}_{EPU} = \frac{116 + 120 + 145 + 120 + 120}{5} \rightarrow \text{Fluxo de Ar}_{EPU} = 124,2 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\text{Fluxo de Ar}_{EPUF} = \frac{159 + 190 + 122 + 140 + 137}{5} \rightarrow \text{Fluxo de Ar}_{EPUF} = 149,6 \text{ cm}^3/\text{s}$$

6. CONCLUSÃO

A utilização de fibras extraídas do pseudocaule da bananeira, como carga para o aumento da densidade da espuma de poliuretano, é uma opção viável de aproveitamento do pseudocaule após a colheita da banana, a fim de diminuir a proliferação de fungos, doenças e insetos causados pelo acúmulo de resíduos desta planta. A fibra do pseudocaule, devido as suas propriedades, adesão e compatibilidade química como o poliuretano, pode ser uma substituição promissora para as cargas inorgânicas na produção de espumas. Após todas as tentativas de testes, alcançou-se a densidade esperada com a inserção das fibras de bananeira, contribuindo na redução de custos para a indústria, bem como o aproveitamento do material descartado consequente do cultivo da banana, essa forma de aproveitamento abre possibilidades para um nicho produtivo, considerando o fato de que este material poderá fornecer um produto dentro dos padrões de qualidade necessário para substituição ou redução de matérias primas não renováveis utilizadas no adensamento das espumas convencionais.

7. REFERENCIAL TEÓRICO

ATHAYDE, Carolina Sampaio. **Análise dos Resíduos Gerados pela Bananicultura como Possível Fonte de Geração de Energia**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9UNHAF>>. Acesso em: 11 abril 2024.

Banana. Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana?shem=sswnst>>. Acesso em: 13 abril 2024

BORGES, Ana Lúcia; *et al.* **Banana:** Colheita. Embrapa. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/banana/producao/tratos-culturais/colheita#:~:text=De%20uma%20forma%20geral%2C%20nas,plntio%20da%20muda%20no%20campo>>. Acesso em: 18 maio 2024.

BORGES, Ana Lúcia; SOUZA, Luciano da Silva. **Banana:** Relações/Climas. Embrapa. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/banana/pre-producao/especie/relacoes/clima>>. Acesso em: 14 abril 2024.

CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, Antonia Marli dos; CLARO NETO, Salvador. **Poliuretano:** de Travesseiros a Preservativos, um Polímero Versátil. Química Nova na Escola, v. 31, n. 3, p. 159-164, 2009. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/quimica/poliuretano_polimero_versatil.pdf>. Acesso em: 15 Abril 2024.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião Vicente. **Ciência do Polímeros:** um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª edição. São Carlos, SP: Artliber Editora, 2006. 282 p. Acesso em: 18 maio 2024.

CLÍMACO, Amanda R.; BECKER, Daniela; BALZER, Palova S. **Compósitos de Polipropileno e Fibra de Bananeira:** Estudo da Influência do Tratamento Alcalino das Fibras de Bananeira nas Propriedades do Compósito. In: Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR–outubro. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Daniela-Becker-3/publication/267841098_COMPOSITOS_DE_POLIPROPILENO_E_FIBRA_DE_BANANEIRA_ESTUDO_DA_INFLUENCIA_DO_TRATAMENTO_ALCALINO_DAS_FIBRAS_DE_BANANEIRA_NAS_PROPRIEDADES_DO_COMPOSITO/links/5555e95a08ae6943a87305b6/COMPOSITOS-DE-POLIPROPILENO-E-FIBRA-DE-BANANEIRA-ESTUDO-DA-INFLUENCIA-DO-TRATAMENTO-ALCALINO-DAS-FIBRAS-DE-BANANEIRA-NAS-PROPRIEDADES-DO-COMPOSITO.pdf>. Acesso em: 18 maio 2024.

GARCIA, Neyfla. **Caule de banana nem sempre é lixo! No SENAI CETIQT ela vira tecido.** Agência de Notícias CNI. 2022. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/caule-de-banana-nem-sempre-e-lixo-no-senai-cetiqt-ela-vira-tecido/>>. Acesso em: 12 abril 2024.

MACEDO, Vinícius de *et al.* **Obtenção de espumas flexíveis de poliuretano com celulose de Pinus elliottii.** Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/po/a/NSNGtGfcCM7DWvy5TmczdQf/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 18 maio 2024.

MOTA, Rafael. **Tronco da planta é descartado após colheita das bananas.** Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/acom2/clipping_semanal/2013/11novembro/23_a_29/files/assets/download/s/page0019.pdf>. Acesso em: 18 maio 2024.

PUENTE, Reinaldo José Alvarez *et al.* **Manejo do Bananal com ênfase na produção de mudas a partir do fracionamento do rizoma.** Manaus: Editora INPA, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/36479>>. Acesso em: 15 abril 2024.

RABELLO, Marcelo Silveira. **Estrutura e Propriedades de Polímeros** 1ª edição, Campina Grande, Pb: Câmara Brasileira do Livro, PB: 2021. 269 p. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/543874070/Estrutura-e-Propriedades-de-Polimeros-Marcelo-Rabello>>. Acesso em: 18 maio 2024.

SANTOS, Ester P. *et al.* **Estudo do tratamento químico para isolamento da celulose da fibra de bananeira e sua caracterização físico-química.** In: 12o Congresso Brasileiro de Polímeros–CBPol. 2013. p. 20-23. Disponível em: <https://e-democracia.com.br/cbpol/anais/2013/pdf/6ESH.pdf>. Acesso em: 18 de maio 2024.

SILVA, Antonio Gonçalves da. **Utilização do Pseudocaulo da Bananeira para Produção de Celulose e Papel.** 1998. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Mg, 1998. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1998_Tese_Pseudocaulo_Bananeira.pdf. Acesso em: 25 maio 2024

SILVA, Taísa da. **Moleque-da-bananeira: conheça essa ameaça.** 2021. Disponível em: <https://www.3rlab.com.br/moleque-da-bananeira-conheca-essa-ameaca/#:~:text=O%20Moleque%2Dda%2Dbananeira%20ou,estado%20do%20Rio%20de%20Janeiro>. Acesso em: 18 maio 2024.

VASCONCELOS, N.F.; *et al.* **Otimização do Processo de Obtenção de Nanocelulose do Pseudocaulo da Bananeira Hidrólise Ácida.** Embrapa Instrumentação, São Carlos, 10 a 13 de junho de 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88513/1/2013-055.pdf>. Acesso em: 14 abril 2024.

VILAR, Walter Dias. **Química e tecnologia dos poliuretanos.** 2ª edição S.L: Vilar Consultoria, 1998. 8 v. Disponível em: <https://poliuretanos.com.br/>. Acesso em: 18 maio 2024.

ZEFERINO, André Henrique; *et al.* **Obtenção De Fibra Sintética A Partir Do Pseudocaulo Da Bananeira.** 2017. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2979.pdf>. Acesso em: 18 maio 2024.