

## **TUBETES BIODEGRADÁVEIS DE BAGAÇO SUBSTITUINDO PLÁSTICOS COM MENOR PERSISTÊNCIA AMBIENTAL E MAIOR BIODIVERSIDADE MICROBIOLÓGICA**

TADEU ALCIDES MARQUES<sup>1</sup>, DANIELA DEFAVARI DO NASCIMENTO<sup>1</sup>, ELIANA MARIA GONÇALVES RODRIGUES<sup>1</sup>, CLAUDIA SGARBIERO TREVISAN<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Dr. Prof./Pesquisador Centro Paula Souza/Fatec, Estado São Paulo, tadeu.marques@fatec.sp.gov.br;

<sup>2</sup>Estagiária Tecnol. de Alimentos Centro Paula Souza/Fatec, Estado São Paulo, claudia.trevisan@fatec.sp.gov.br;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC

06 a 09 de outubro de 2025

**RESUMO:** A produção mundial de plástico atingiu 367 milhões de toneladas, sendo estes descartados ao meio ambiente. Dentre os diversos polímeros naturais que podem ser utilizados para a substituição ao plástico a celulose é o mais abundante na natureza. A cana-de-açúcar produz aproximadamente 71,68 milhões de toneladas de celulose anuais que podem ser utilizadas para elaboração de polímeros biodegradáveis como tubetes biodegradáveis ou chamados de biotubetes. Com o objetivo tratar a questão da persistência ambiental dos biotubetes, devido a degradação microbiológica foram realizados testes de resistências com relação a amassamento, para determinar a funcionalidade dos biotubetes a campo, resistência a cortes e mordeduras para determinar problemas em operações mecânicas e resistência a perfuração para estudar a possibilidade do plantio da muda sem a necessidade da retirada do biotubetes. Outro objetivo foi o estudo da biodiversidade microbiológica crescente no efluente líquido retirado do biotubete em biodegradação. Constatou-se que os biotubetes de bagaço de cana-de-açúcar e trigo apresentaram resistências possível de perfuração pela raiz e que os tempos de permanência ambiental dos tubetes de bagaço de cana-de-açúcar com trigo foram 22 a 37 vezes menores que os tubetes de PVC. Observou-se que a população microbiana no efluente de degradação dos tubetes de bagaço foi considerada a de melhor biocompatibilidade ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** mudas, meio ambiente, cana-de-açúcar, celulose.

### **BIODEGRADABLE BAGASSE ROOT TRAINERS REPLACING PLASTICS WITH LESS ENVIRONMENTAL PERSISTENCE AND GREATER MICROBIOLOGICAL BIODIVERSITY**

**ABSTRACT:** The global plastic production in 2020 reached 367 million tons, and these are discarded into the environment. Among the various natural polymers that can be used to replace plastic, cellulose is the most abundant in nature, biodegradable, and has specific physical properties. Sugarcane produces approximately 71.68 million tons of cellulose annually, which can be used to produce biodegradable polymers such as biodegradable root trainers, or biotubes. To address the environmental persistence of biotubes due to microbiological manipulation, resistance tests were performed on crushing to determine their functionality in the field, resistance to cuts and bites to determine problems in mechanical operations, and resistance to puncture to study the possibility of managing seedlings without the need to remove the biotubes. Another objective was to study the growing microbiological biodiversity in the liquid effluent removed from the biodegrading biotubes. It was found that the sugarcane and wheat bagasse biotubes presented potential resistance to root perforation, and that the environmental residence times of the sugarcane and wheat bagasse tubes were 22 to 37 times shorter than those of the PVC tubes. It was also observed that the microbial population contained in the handling effluent of the sugarcane and wheat bagasse tubes was considered to have the best environmental biocompatibility.

**KEYWORDS:** seedlings, environment, sugarcane, cellulose.

## INTRODUÇÃO

A poluição por microplásticos (MP) e nanoplásticos (NP) são as novas preocupações ecológicas que representam riscos para a saúde dos ecossistemas e dos seres vivos, incluindo os humanos. Os ecossistemas estão sendo contaminados com MP em todo o mundo e o MP chega ao corpo humano por meio da alimentação (Bilal et al., 2023). Segundo Vyas et al. (2025) em 2020 a produção global de plástico atingiu 367 milhões de toneladas e poderá subir para 1,1 bilhão de toneladas, sendo que 1/3 desta produção está ligada a plásticos de uso único e de curto tempo de utilização, sendo estes descartados em aterros sanitários ou liberados ao meio ambiente. Dentre os diversos polímeros naturais que podem ser utilizados para a produção de biopolímeros substitutos ao plástico, a celulose é o polímero mais abundante na natureza, componente da biomassa vegetal, além de ser biodegradável e com propriedades físicas interessantes. A produção anual de cana-de-açúcar está em aproximadamente 1,6 bilhões de toneladas, as quais geram aproximadamente 280 kg de bagaço por tonelada, sendo que 60% deste bagaço é utilizado pela própria indústria (MARQUES e SERRA, 2000), resultando aproximadamente 179 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar em sobras. O teor de celulose do bagaço de cana-de-açúcar varia de 40 a 50%, se utilizarmos o menor percentual tem-se a sobra de 71,68 milhões de toneladas de celulose anuais. A elaboração de polímero naturais com bagaço de cana-de-açúcar para produção de tubetes biodegradáveis ou chamados de biotubetes com dimensões apropriadas para a multiplicação de mudas da própria cana-de-açúcar, que devem ter 290 mL de volume com dimensões de 63 mm de diâmetro por 160 mm de comprimento (FRANCO et al., 2020), no sistema denominado de mudas pré-brotadas (MPB). tem como objetivo tratar a questão da persistência ambiental dos biotubetes, devido a degradação microbiológica em comparação com os tubetes convencionais de PVC derivado do petróleo. Testes de resistências com relação a amassamento, para determinar a funcionalidade dos biotubetes a campo, sendo que a mínima pressão de amassamento deve ser de 12 kg cm<sup>-2</sup> (WENDLING e GUEDES, 2004), resistência a cortes e mordeduras para determinar problemas em operações mecânicas e resistência a perfuração para estudar a possibilidade do plantio da muda sem a necessidade da retirada do biotubete, pois a pressão de limitação da raiz é de 35 kgf cm<sup>-2</sup> (TORRES e SARAIVA, 1999). Outro objetivo está no estudo da biodiversidade microbiológica crescente no efluente líquido retirado do biotubete em biodegradação, pois assim deseja-se constatar um melhor equilíbrio na biota do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O bagaço de cana foi seco em estufa sob circulação de ar a 80°C por 60 minutos e posteriormente passou-se em triturador de facas com potência de 1400watts por 60 minutos. O resultado da desintegração foi peneirado em sequência de peneiras gravimétricas de 4,75mm/2,8mm/2mm/1,4mm/ 1,18mm/ 0,8mm/0,25mm. Foram utilizadas para os ensaios as partículas de tamanho 0,8mm até 2,8 mm, que representou 45% do total. O ensaio foi realizado em triplicata e composto de 6 tratamentos: T1 – Tubete de PVC convencional; T2 – Tubete de Mamona (Produzido com o material da reação de 10mL de isocianato com 10 mL de óleo de mamona, durante o processo de expansão do material foi adicionado 5 g de bagaço de cana preparado); T3 – Tubete de Argila Hidrofóbica (10g de argila hidrofóbica marca redelease adicionada de 10 g de bagaço); T4 – Tubete de Argila preta (10 g de argila preta de modelar adicionada de 10 g de bagaço); T5 – Tubete de Trigo (100g de farinha de trigo adicionada de 350 mL de água e 30 mL de vinagre levada ao fogo por 15 minutos até gomificação, adicionado 50 g de bagaço); T6 - Tubete de Trigo (100g de farinha de trigo adicionada de 350 mL de água e 30 mL de vinagre levada ao fogo por 15 minutos até gomificação, adicionado 50 g de bagaço) e 200 g de aglutinante RICLACOL® a base de amido de milho. As massas obtidas nos tratamentos foram utilizadas para moldas os tubetes no molde produzido em impressora 3D.

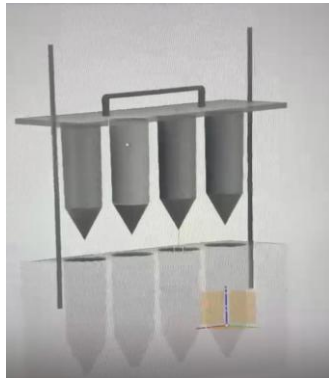


Figura 1: Molde impresso em impressora 3D.

Depois de preparados os tubetes eles foram testados com relação as suas forças em Newton com relação a perfuração, amassamento, mordedura e corte com o dinamômetro digital ZMF-500 com ponteiras especiais para as determinações indicadas e foram realizadas em triplicata. Outras amostras dos tubetes (100g de cada tratamento), em triplicata, foram levadas em câmaras respirométricas e avaliadas diariamente com relação a variação gravimétrica, a presença visual de microrganismos e emissão de gases, por noventa dias, para aferir o tempo de degradação microbiológica. Após noventa dias amostra do efluente de cada tipo de tubete foi assepticamente amostrada e levada ao laboratório de microbiologia onde foram realizados plaqueamento em meios “nutriente” e “sabouraud” para avaliação de crescimento seletivo de grupos bacterianos e fúngicos utilizando a metodologia de Inteligência Artificial, através de reconhecimento por pixel automatizado pelo software openCV com uso do python e realizando análise estatística.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tubetes elaborados com bagaço de cana e amido de trigo (arsal) e os que foram elaborados com bagaço de cana e amido de trigo adicionado com adesivo comercial de milho (arcom) tiveram as melhores resistências sendo que a pressão ao amassamento foi de 13 kgf cm<sup>-2</sup>, depois das resistências dos tubetes de PVC (36 kgf cm<sup>-2</sup>), demonstrando que são tubetes que tendem a ter bons desempenho prático no trabalho a campo. As pressões para perfuração, obtidas no dinamômetro para estes mesmos tubetes foram bem inferiores 35 kgf cm<sup>-2</sup>, sendo de 7,22 e 2,72, fato que pode facilitar o enraizamento sem a necessidade de retirada do tubete (figuras 2 e 3).

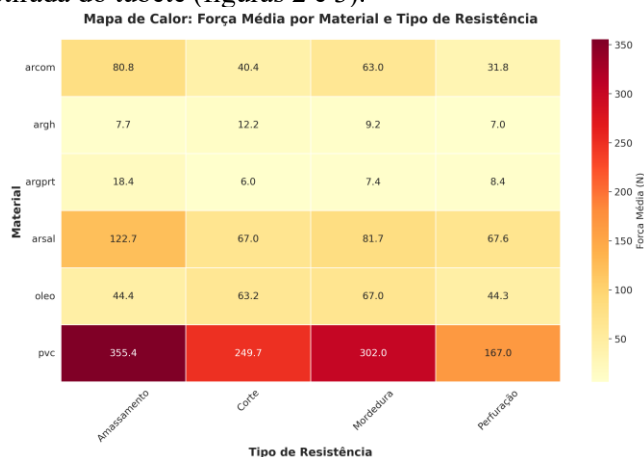


Figura 2: Mapa de calor para as forças.

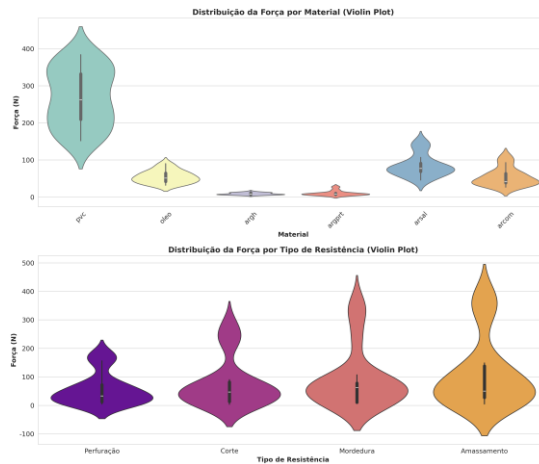


Figura 3: Força por material e resistência – gráfico violino.

Com relação ao tempo de degradação o tubete de PVC apresentou um tempo estimado de, juntamente com o tubete de bagaço de cana-de-açúcar com argila preta de 450 anos, seguido do tempo estimado para o tubete de bagaço de cana-de-açúcar com argila hidrofóbica e mamona com mais de 200 anos e tubete de bagaço de cana-de-açúcar com amido de trigo com tempo de 20 anos e o tubete elaborado com bagaço de cana-de-açúcar com amido de trigo e com adesivo de milho o tempo foi de 12 anos (Figura 4).

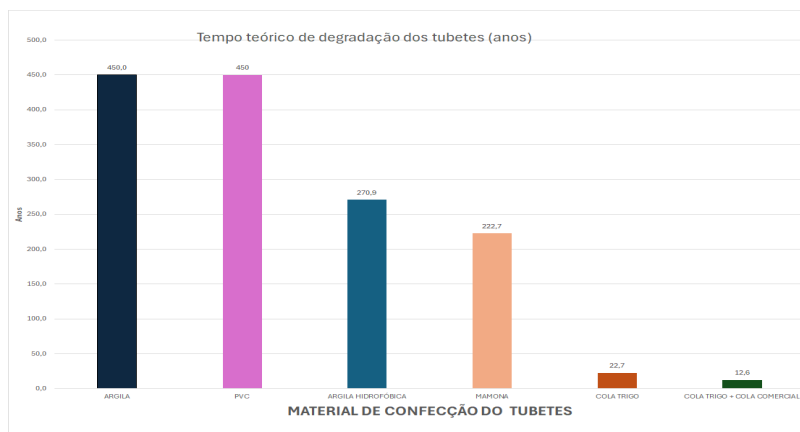


Figura 4: Tempo de degradação dos tubetes.

Com relação aos resultados microbiológicos do efluentes, realizados por IA, ocorreu uma análise intensiva das imagens apresentadas e em sequência foram realizadas análises estatísticas e considerações sobre os resultados obtidos.

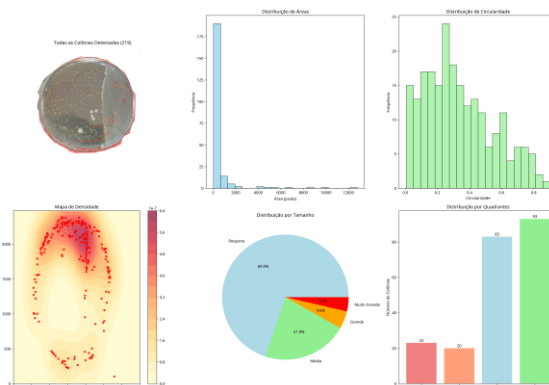


Figura 5: Exemplo de análise compreensiva das colônias.

Nas análises dos efluentes amostrados aos 90 dias de degradação, os tubetes que com amido de trigo na composição foram considerados orgânicos e com biodegradabilidade superior. Os tubetes de PVC foram considerados de toxicidade ou baixa biocompatibilidade de degradação. Os Tubetes elaborados com óleo de mamona foram considerados com a melhor terceira capacidade de biocompatibilidade do experimento.

### CONCLUSÕES

- Biotubetes de bagaço de cana-de-açúcar e trigo apresentaram resistências de amassamento funcionais;
- Biotubetes de bagaço de cana-de-açúcar e trigo apresentaram resistências possível de perfuração pela raiz;
- Os tempos de permanência ambiental dos tubetes de bagaço de cana-de-açúcar com trigo foram 22 a 37 vezes menores que os tubetes de PVC;
- A população microbiana contida no efluente de degradação dos tubetes de bagaço de cana-de-açúcar com trigo foi considerada a de melhor biocompatibilidade ambiental.

### AGRADECIMENTOS

Usina Granelli em especial a pessoa do Gerente Claudinei Rodrigues pelo fornecimento do bagaço industrial e ao proprietário Senhor José Valdir Granelli.

### REFERÊNCIAS

- Bilal, M., Hassan, H.U., Siddique, M.A.M., Khan, W., Gabol, K., Ullah, I., Sultana, S., Abdali, U., Mahboob, S., Khan, MS, Atique, U., Khubai, M. e Arai, T., 2023. Microplásticos na água da superfície e no trato gastrointestinal de Salmo trutta do Lago Mahodand, Kalam Swat no Paquistão. *Toxics*, v. 11, n. 1, p. 3. <http://dx.doi.org/10.3390/toxics11010003>.
- Vyas A, Ng. S., Fu T., Anum I (2025) ZnO-Embedded Carboxymethyl Cellulose Bioplastic Film Synthesized from Sugarcane Bagasse for Packaging Applications. *Polymers* 17: 579 <https://www.mdpi.com/2073-4360/17/5/579>.
- Marques T.A. e Serra G.E. Multimedia software for calculations of white sugar manufacture. *Sci Agric*. 2000, 55: 3, 567-569. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000300032>
- Franco, C. B. Oliveira, C.E da S., Silva, K. S., Steiner, F. Qualidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em resposta ao tamanho do tubete e do minirrebolo. *R. bras. Tecnol.* v.14, n. 01: p. 3089-3103, 2020.
- Torres, E. Saraiva, O.F. Camadas de Impedimento Mecânico do Solo em Sistemas Agrícolas com a Soja. Embrapa Soja. Circular Técnica, 23. 1999.
- WENDLING, I.; GUEDES, L. A. Produção de mudas florestais em tubetes. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. (Embrapa Florestas. Documentos, 119).