



## **AValiação DA CAPACIDADE DE LARVAS *Zophobas morio* EM BIODEGRADAR O POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS) E O ETILENO ACETATO DE VINILA (EVA) POR ANÁLISE TÉRMICA**

Pereira, J.D.<sup>1</sup>; Santana, J. S.<sup>1</sup>, Silva, A.C.<sup>2</sup>, Santana, S.E.C<sup>2</sup>., Lucas, A. A.,<sup>3</sup> Ferreira, B.D.L.<sup>4</sup>, Sebastião, R. C. O.<sup>5</sup>, Marques, M.B.F Souza,<sup>5</sup> C. O., Silva<sup>1</sup>, J. B. A.<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia

<sup>2</sup>Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

<sup>3</sup>Universidade Federal de São Carlos

<sup>4</sup>Universidade Federal de Alfenas

<sup>5</sup>Universidade Federal de Minas Gerais

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Rua Rui Barbosa, 710 - Centro - Cruz das Almas/BA - 44.380-000. E-mail para contato: \*[janiabetania@ufrb.edu.br](mailto:janiabetania@ufrb.edu.br)

### RESUMO

A biodegradação é uma alternativa para transformar os polímeros em compostos menores, exemplo do poliestireno (XPS) e do etileno acetato de vinila (EVA), podendo amenizar os impactos ao ecossistema. Este estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de larvas de *Zophobas morio* (em dois estágios larval) em biodegradar o XPS (limpo e pós-consumo), e o EVA (com e sem pigmento), por análise termogravimétrica (TGA). Os resultados sugerem que as larvas menores conseguiram se adaptar mais (portanto foram capazes de biodegradar) a dieta (XPS) em relação as maiores. Para o EVA observou-se variação na temperatura de degradação de cada evento, podendo ser associada a produtos intermediários do EVA, com diferença atribuída à capacidade de adaptação do microbiota das larvas de acordo com o estágio larval.

Palavras-chave: biodegradação, análise térmica, polímeros.

### ABSTRACT

Biodegradation is an alternative to transform polymers into smaller compounds, such as polystyrene (XPS) and ethylene vinyl acetate (EVA), which can mitigate impacts on the ecosystem. This study aimed to evaluate the ability of *Zophobas morio* larvae (in two larval stages) to biodegrade XPS (clean and post-consumer), and EVA (with and without pigment), by thermogravimetric analysis (TGA). The results suggest that the smaller larvae were able to adapt more (therefore were able to biodegrade) the diet (XPS) compared to the larger ones. For EVA, a variation in the degradation temperature of each event was observed, which may

be associated with EVA intermediate products, with the difference attributed to the adaptation capacity of the larval microbiota according to the larval stage.

Keywords: biodegradation, thermal analysis, polymers.

## INTRODUÇÃO

O acúmulo de objetos produzidos a partir de polímeros sintéticos no meio ambiente é um desafio dessa e das próximas gerações. Por possuir ligações químicas estáveis, a degradação natural desses materiais é um processo que perdura por muitos anos. Diante desse desafio em expansão e soluções parciais, é preciso buscar na natureza maneiras de lidar com esses resíduos.

Nos últimos anos tem sido estudada a capacidade que alguns insetos, em especial os da família *Tenebrionidae* na fase larval, em biodegradar resíduos plásticos (poliestireno, polipropileno e politereftalato de etileno), provenientes do descarte inadequado (Mamtimin *et al.*, (2023), Tsochatzis *et al.*, (2022), Yang *et al.* (2022), Jiang *et al.* (2021), e Peng *et al.* (2020)). Uma das espécies estudadas é larvas de *Zophobas morio* conhecida como tenébrio gigante, comumente utilizada na alimentação de peixes e frangos.

O objetivo desse estudo é analisar por análise termogravimétrica (TG) a capacidade de larvas *Zophobas morio* em biodegradar resíduos de poliestireno expandido extrudado (XPS) e etileno acetato de vinila (EVA).

## MATERIAL E MÉTODOS

As larvas de *Zophobas morio* foram adquiridas da empresa SuperBugs-Alimentos Funcionais (Salvador-BA, Brasil), as quais foram divididas em dois grupos: L1 – larvas menores (1 a 3 cm), e L2 – larvas maiores (5 a 7 cm). Os experimentos foram organizados por dietas: Ração comercial (RC), Poliestireno extrudado limpo (XPSLP), Poliestireno extrudado pós-consumo (XPSPC), Etileno acetato de etila sem pigmento (EVASP) e Etileno acetato de etila com pigmento (EVACP). Cerca de 90 larvas foram colocadas por recipiente, durante 45 dias, o experimento foi realizado em triplicata.

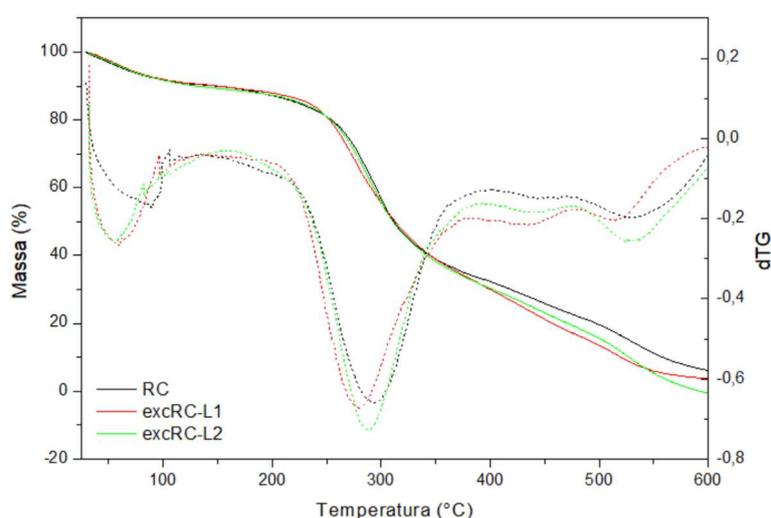
As dietas-polímeros (XPS e EVA) e os respectivos excrementos gerados foram submetidos a um analisador térmico (Perk Elmer, Pyris 1 TGA, Shelton,

Connecticut, USA), com atmosfera inerte de N<sub>2</sub> (50 mL.min<sup>-1</sup>), taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup>, em uma faixa de temperatura de 25 a 600°C.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dieta controle (RC), oferecida às larvas de *Zophobas morio*, dos grupos L1 e L2 apresentou quatro eventos de perda de massa, conforme figura 01 e tabela 01. O excremento gerado com a dieta RC para os dois grupos L1 (excRC-L1) e L2 (excRC-L2), apresentaram a mesma quantidade de eventos térmicos.

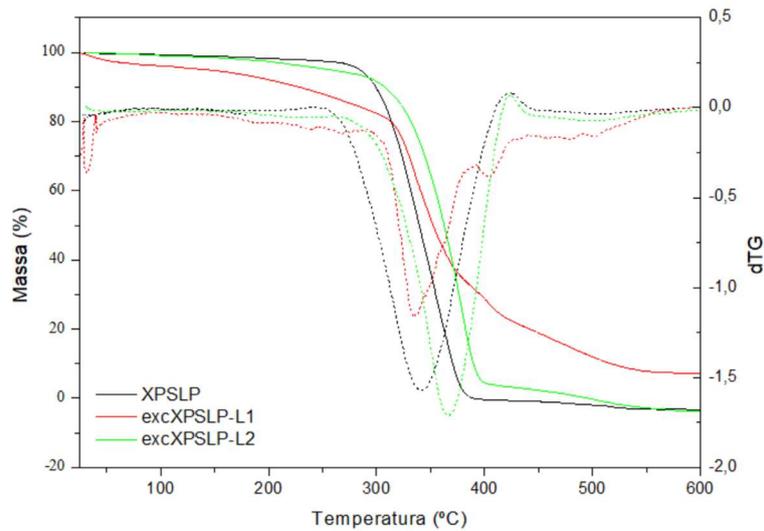
Figura 01 – Curvas TG/dTG da dieta RC, e dos respectivos excrementos



Tanto a dieta RC, como os excrementos gerados pelas larvas excRC-L1 e excRC-L2 apresentaram eventos com intervalos similares. Leva-se a concluir que a ração comercial quando ingerida pelas larvas em geral tem poucas modificações durante a passagem pelo sistema digestivo das larvas.

As curvas TG/dTG para a dieta alternativa XPS limpo (XPSLP), conforme figura 02, mostraram um único evento de perda de massa entre 244,42 e 425,95°C ( $m = 99,57\%$ ), com temperatura de velocidade máxima de perda de massa ( $T_{Vmax}$ ) em 342,13°C, correspondente à degradação do polímero, conforme figura 02 e tabela 1. Estudos com espumas de poliestireno expandido (EPS), relataram um único evento de perda de massa, com variação de temperatura de 360 à 480°C (Yang *et al.*, 2019; Lou *et al.*, 2021; Wang Y *et al.*, 2022). Com relação ao respectivo excremento gerado pelas larvas do grupo L1 (excXPSLP-L1) observou-se um maior número de eventos de perda de massa (04), em relação a dieta XPSLP (um único evento).

Figura 02 - Curvas TG/dTG da dieta XPSLP e dos respectivos excrementos

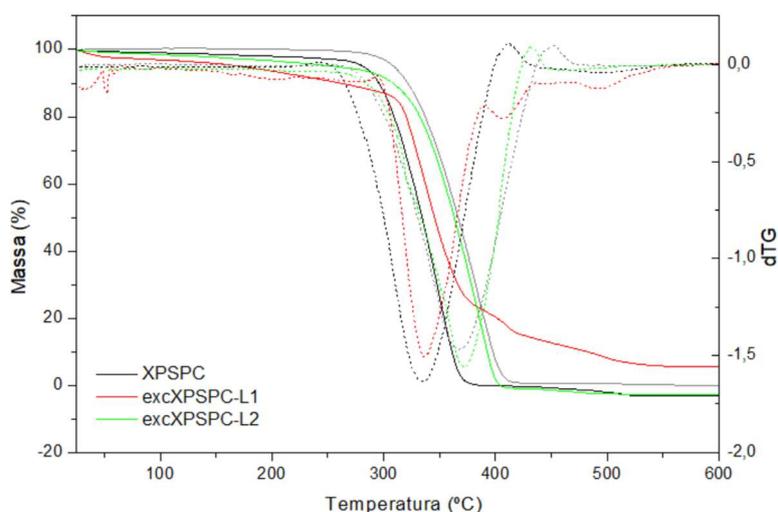


Para o excremento - excXPSLP-L1 o primeiro evento ocorreu entre 26,02 a 104,21°C ( $T_{Vmax} = 30,62$  °C;  $m = 9,69\%$ ), este evento pode ser atribuído a umidade (Peng *et al.* 2019). O segundo evento ocorreu entre 287,4 a 392,31 °C ( $T_{Vmax} = 336,25$  °C;  $m = 60,78\%$ ), sendo equivalente à degradação do polímero (XPS), o que pode indicar a presença do polímero no excremento correspondente, e um terceiro evento entre 393,65 e 440,09 °C ( $T_{Vmax} = 404,33$  °C;  $m = 12,62\%$ ). Estes dois últimos eventos ocorreram em faixa de temperatura atribuída a degradação do XPS, no entanto foi observado um deslocamento nas temperaturas de início de degradação, que pode estar relacionada a alguma alteração química sofrida pelas cadeias do XPS no intestino das larvas, como a clivagem, com conseqüente diminuição da massa molecular (gerando dois eventos de perda de massa), associada à geração de produtos intermediários que influenciaram no aumento da temperatura de degradação. O quarto evento ocorreu entre 446,23 a 560,75 °C ( $T_{Vmax} = 482,01$  °C;  $m = 10,43\%$ ). Supõe-se que seja um dos produtos gerados pela biodegradação do polímero XPSLP.

Para o grupo de larvas L2 o excXPSLP-L2, figura 02 e tabela 01, foram registrados dois eventos térmicos. O primeiro entre 249,21°C - 424,61°C, com  $T_{Vmax} 368,65$ °C ( $m = 96,61\%$ ). O segundo entre 425,95°C e 598,83°C, com  $T_{Vmax} 499,99$ °C ( $m = 3,01\%$ ). Diferentemente do excXPSLP-L1 que registrou quatro eventos, excXPSLP-L2 se assemelha ao comportamento térmico da dieta (XPSLP), esse comportamento sugere que a biodegradação do grupo L2 pode ter sido menor que a do grupo L1.

Comportamento equivalente ao XPSLP foi verificado nas curvas das dietas XPSPC-L1 (pós-consumo), conforme figura 03 e tabela 01. Um único evento de perda de massa foi observado em XPSPC entre 233,48 e 412,6 °C ( $T_{V_{\text{máx}}} = 333,85^{\circ}\text{C}$ ;  $m = 99,59\%$ ), correspondente à degradação do polímero. Entretanto, verificou-se que a temperatura ( $T_{\text{onset}}$ ) entre as dietas XPSLP-L1 e XPSPC-L1 apresentou uma variação aproximadamente de 10°C, associada a sujidades (gordura) presentes no XPSPC.

Figura 03 - Curvas TG/dTG da dieta XPSPC e dos respectivos excrementos



O excremento do XPSPC gerado pelas larvas grupo L1 (excXPSPC-L1), apresentou 4 eventos de perda de massa, figura 03 e tabela 01. O primeiro ocorreu entre 25 a 90,4°C ( $T_{V_{\text{máx}}} = 53,29^{\circ}\text{C}$ ;  $m = 5,29\%$ ), associado aos resíduos de matéria orgânica e umidade, conforme Peng *et al.* (2019). Todos os excrementos gerados pelas larvas do grupo L1 alimentadas com as dietas de XPS (limpo e pós-consumo), apresentaram eventos semelhantes, em faixas de temperatura próximas e com perda de massa equivalente. O segundo evento ocorreu entre 230,01 e 383,24 °C ( $T_{V_{\text{máx}}} = 335,19^{\circ}\text{C}$ ;  $m = 70,88\%$ ), e um terceiro entre 389,91 e 436,62 °C ( $T_{V_{\text{máx}}} = 404,33^{\circ}\text{C}$ ;  $m = 12,65\%$ ).

Ambos eventos estão associados à degradação do XPSPC presente no excremento, no entanto ocorreram em temperaturas inferiores em comparação aos mesmos eventos observados no excremento do XPSLP, comportamento atribuído as sujidades (gordura) presente no XPS pós-consumo (XPSPC), o que facilitou a degradação térmica. O quarto evento entre 475,87 a 551,35 °C ( $T_{V_{\text{máx}}}$

= 481,62 °C; m = 6,76%), foi associado possivelmente a um dos produtos intermediários gerados na degradação do polímero.

Os excrementos gerados pelas larvas do grupo L1 (alimentadas com as dietas XPSLP e XPSPC), apresentaram a mesma quantidade de eventos térmicos. Para o primeiro evento a temperatura de início de degradação ( $T_{\text{onset}}$ ) foi equivalente, mas a variação na  $T_{V\text{máx}}$  foi cerca de 22,67 °C (m = 4,05%). No segundo evento,  $T_{\text{onset}}$  apresentou uma variação de 57,3°C, com  $T_{V\text{máx}}$  equivalente, e variação na perda de massa (m = 10%). O terceiro evento foi o mais similar dos quatro registrados, com  $T_{\text{onset}}$ ,  $T_{V\text{máx}}$ , e perda de massa equivalentes. No quarto evento a variação  $T_{\text{onset}}$  foi cerca de 29,64°C, com  $T_{V\text{máx}}$  equivalente, e variação na perda de massa de 3,67%.

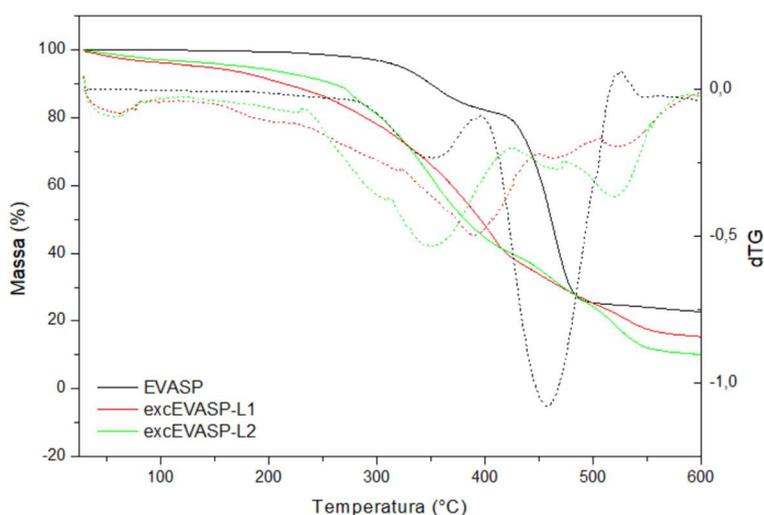
Com relação aos excrementos gerados pelas larvas do grupo L2 para as dietas XPSLP e de XPSPC, observou-se uma quantidade menor de eventos térmicos (dois), comparado às larvas do grupo L1. O excXPSLP-L2 teve o primeiro evento entre 249,21 e 424,61 °C ( $T_{V\text{máx}} = 386,65$  °C; m = 99,61%). O segundo ocorreu entre 425,95 e 598,93 °C ( $T_{V\text{máx}} = 499,99$  °C; m = 3,01%). No entanto o excXPSPC-L2 teve o primeiro evento entre 259,91 e 431,82 °C ( $T_{V\text{máx}} = 373,36$  °C; m = 99,69%). Um segundo entre 434,22 e 598,23 °C ( $T_{V\text{máx}} = 455,58$  °C; m = 0,32%). Os excrementos do grupo L2 apresentaram eventos equivalentes. O primeiro a variação da  $T_{\text{onset}}$  foi de aproximadamente 10°C, e para o segundo, a perda de massa foi maior para o excXPSLP-L2 (3,01%) em relação ao excXPSPC-L2 (0,32%).

Entretanto, a diferença da  $T_{V\text{máx}}$  variou, em aproximadamente em 13,29°C (primeiro evento) e 44,51°C (para o segundo). Foi percebida a ausência de eventos térmicos de degradação em temperatura a abaixo de 120°C, que abrange compostos orgânicos voláteis e umidade nos excrementos excXPSLP-L2 e excXPSPC-L2. Em todos os outros excrementos gerados pelas larvas, houve degradação abaixo desta temperatura. Baixos percentuais de umidade ou ausência pode indicar um material menos hidrofílico, uma característica latente dos polímeros estudados (Lou *et al.*, 2021). Esse comportamento sugere que o XPS (limpo e pós-consumo) tenha sido biodegradado e ou sofrido mudanças estruturais com maior eficiência pelas larvas do grupo L1, pelo o fato dos excrementos gerados pelas larvas do grupo L2, apresentarem um perfil térmico diferente (número de eventos) dos excrementos gerados pelas larvas do grupo

L1, além de serem semelhantes ao perfil térmico das dietas equivalentes (XPSLP e XPSPC). Os resultados sugerem que as larvas do grupo L1 (menores) conseguiram se adaptar (portanto foram capazes de degradar) mais a dieta com os polímeros em relação as do grupo L2 (maiores).

O EVA sem pigmento (EVASP) apresentou dois eventos térmicos, conforme figura 04 e Tabela 01. O primeiro entre 244,43 e 394,72°C, com  $T_{V_{máx}}$  394,38°C e perda de massa de 18,23% aproximadamente. O segundo foi observado entre 399,52 e 526,06 °C, com  $T_{V_{máx}}$  456,91°C ( $m = 58,75\%$ ). Os dois eventos apresentados pelo copolímero de EVA, são atribuídos as diferentes unidades monoméricas que compõe este polímero, o etileno e o acetato de vinila (Paiva *et al.*, 2021).

Figura 04 – Curvas TG/dTG da dieta EVASP e dos respectivos excrementos



Para as larvas do grupo L1, alimentadas com a dieta EVASP, figura 04 e tabela 01, o excremento (excEVASP-L1) apresentou um primeiro evento entre 30,68 - 139,25°C, com  $T_{V_{máx}} = 59,17^{\circ}\text{C}$  ( $m = 5,8\%$ ). Este evento, comum à maioria dos excrementos pode estar relacionado aos materiais orgânicos voláteis produzidos pelo sistema digestório das larvas e possivelmente associado à umidade. O segundo ocorreu entre 141,38 e 220,4°C, com  $T_{V_{máx}} = 202,51^{\circ}\text{C}$  ( $m = 5,42\%$ ), terceiro entre 222,8 – 448,64°C, com  $T_{V_{máx}} = 392,31^{\circ}\text{C}$  ( $m = 55,07\%$ ), um quarto de 451,04 a 504,6°C, com  $T_{V_{máx}} = 465,19^{\circ}\text{C}$  ( $m = 9,31\%$ ), e um quinto entre 509,5 a 598,93, com  $T_{V_{máx}} = 523,65^{\circ}\text{C}$  ( $m = 8,33\%$ ). O primeiro, segundo e o quinto eventos podem estar relacionados a produtos da biodegradação do EVASP. Enquanto que o terceiro e o quarto podem indicar

que no excremento ainda há resíduos do EVASP, ou compostos intermediários, com degradação térmica similar aos componentes (etileno e acetato de etila) do EVA.

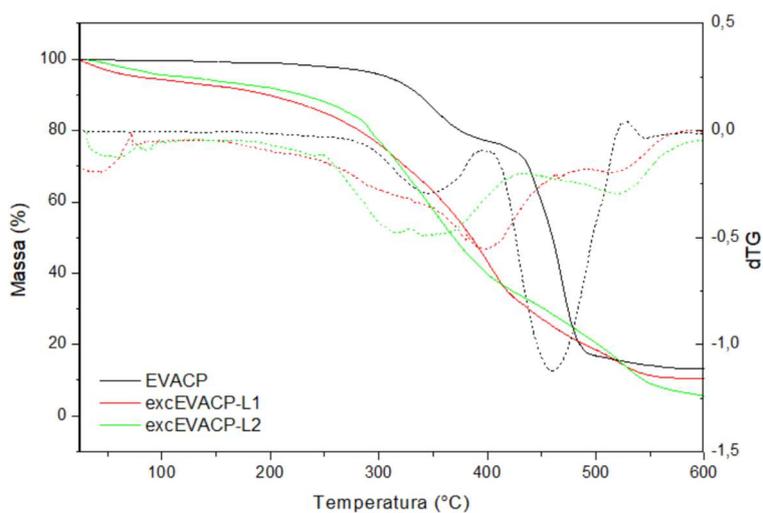
O comportamento térmico apresentado pelo excremento gerado pelas as larvas do grupo L2, que consumiram a dieta EVASP (excEVASP-L2), apresentou cinco eventos de perda de massa, similar ao grupo L1, figura 04 e tabela 01. O primeiro em 29,53 a 120,03°C, com  $T_{V_{máx}} = 58,1^{\circ}\text{C}$  ( $m = 3,18\%$ ). O segundo de 127,24 a 231,08°C, com  $T_{V_{máx}} = 222,8^{\circ}\text{C}$  ( $m = 4,52\%$ ), um terceiro entre 232,41 - 424,61°C, com  $T_{V_{máx}} = 350,67^{\circ}\text{C}$  ( $m = 52,33\%$ ), quarto de 428,35 a 471,33°C, com  $T_{V_{máx}} = 466,52^{\circ}\text{C}$  ( $m = 9,23\%$ ), e um quinto de 475,87 a 589,32°C, com  $T_{V_{máx}} = 520,18^{\circ}\text{C}$  ( $m = 18,97\%$ ). Observou-se similaridade nas temperaturas dos eventos entre os grupos L1 e L2, no primeiro evento  $T_{onset}$ ,  $T_{V_{máx}}$  e a perda de massa ( $m$ ) foram equivalentes. O segundo apresentou equivalência no percentual de perda de massa, mas a  $T_{onset}$  variou de 14°C e  $T_{V_{máx}}$  variou 20°C. Para o terceiro evento, a variação foi de aproximadamente  $T_{onset} = 10^{\circ}\text{C}$ , e  $T_{V_{máx}} = 41,64^{\circ}\text{C}$  (perda de massa equivalente). No quarto evento, uma discrepância maior na  $T_{onset}$  foi observada, cerca de 30°C, mas a  $T_{V_{máx}}$  e perda de massa foram equivalentes. No quinto evento, apenas o  $T_{V_{max}}$  foi equivalente, com variação de  $T_{onset} = 33,63^{\circ}\text{C}$ , e perda de massa de 10,64%. Este comportamento térmico indica que os excrementos gerados pelas larvas que consumiram o EVASP, apresentam produtos similares, independente do estágio larval (grupo L1 e L2).

O primeiro, segundo e o quinto eventos podem estar relacionados à produtos da biodegradação do EVASP. Enquanto que o terceiro e o quarto podem indicar que no excremento ainda há resíduos do EVASP, ou compostos intermediários, com degradação térmica similar aos componentes (etileno e acetato de etila) do EVA.

O EVA com pigmento (EVACP) apresentou comportamento térmico semelhante ao EVASP, conforme figura 05 e tabela 1. Foi registrado o primeiro evento entre 267,12 e 404,33 °C, com  $T_{V_{máx}} = 345,89^{\circ}\text{C}$  ( $m = 23,23\%$ ). O segundo entre 406,73 e 532,19 °C, com  $T_{V_{máx}} = 461,75^{\circ}\text{C}$  ( $m = 63,17\%$ ). A pequena variação na temperatura entre as dietas EVASP e EVACP indica que o pigmento rosa não teve uma influência relevante na degradação térmica do EVA.

Os excrementos gerados pelas larvas do grupo L1 que consumiram a dieta EVACP (excEVACP-L1), apresentaram três eventos, figura 05 e tabela 01. O primeiro de 26,19 a 111,28 °C, com  $T_{V_{máx}} = 42,61^{\circ}\text{C}$  ( $m = 6,11\%$ ), correspondente à compostos orgânicos voláteis e umidade, segundo Yang *et al.* (2019). O segundo entre 132,82 a 486,9°C com  $T_{V_{máx}} = 397,78^{\circ}\text{C}$  ( $m = 72,57\%$ ), e um terceiro de 495,25 a 598,92 °C com  $T_{V_{máx}} = 515,21^{\circ}\text{C}$  ( $m = 9,1\%$ ).

Figura 05 – Curvas TG/dTG da dieta EVACP e dos respectivos excrementos



Com relação às larvas do grupo L2 que consumiram o EVACP, foi identificada no excremento gerado (excEVACP-L2) a presença de três eventos térmicos, similar ao grupo L1, figura 05 e tabela 01. O primeiro ocorreu entre 31,67 e 138,18°C, com  $T_{V_{máx}} = 61,57^{\circ}\text{C}$  ( $m = 5,56\%$ ). O segundo entre 140,32 e 435,29°C com  $T_{V_{máx}} = 348,27^{\circ}\text{C}$  ( $m = 61,18\%$ ). O terceiro de 437,69 a 598,21, com  $T_{V_{máx}} = 521,25^{\circ}\text{C}$  ( $m = 26,94\%$ ). Similaridades foram encontradas entre os excrementos das larvas dos grupos L1 e L2 que consumiram EVACP. No primeiro evento  $T_{onset}$  e a perda de massa foram equivalentes, mas  $T_{V_{máx}}$  variou em 20°C. Discrepância maior ocorreu nos segundo e terceiro eventos. No segundo,  $T_{V_{máx}}$  variou 50°C, aproximadamente, com  $T_{onset} = 8^{\circ}\text{C}$ , e 10% na perda de massa. No terceiro, a variação foi  $T_{onset} = 57^{\circ}\text{C}$  e na perda de massa (17%), mas  $T_{V_{máx}}$  foi equivalente.

Estes resultados dos excrementos de EVACP reafirmam as similaridades entre os excrementos de EVACP dos grupos L1 e L2. Conclui-se que em termos de análise térmica os produtos presentes nos excrementos das larvas de *Zophobas morio* independente do estágio larval podem ser semelhantes ou

possuir alguma correlação. No entanto a variação nas temperaturas de degradação de cada evento pode estar associada a produtos intermediários do EVA, com diferença atribuída à capacidade de adaptação do microbiota das larvas de acordo com o estágio larval. Segundo Quan *et al.* (2023), o consumo de diferentes dietas permite que larvas da família *Tenebrionidae* adaptem seus metabólitos e a sua microbiota intestinal.

**Tabela 01** – Dados da análise termogravimétrica para dietas e excrementos das larvas de *Zophobas morio* – Grupos L1 e L2

Amostras	1º evento				2º evento				3º evento				4º evento				5º evento				Resíduo (%)	
	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>endset</sub> (°C)	Δw%	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>endset</sub> (°C)	Δw%	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>endset</sub> (°C)	Δw%	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>endset</sub> (°C)	Δw%	T <sub>onset</sub> (°C)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>endset</sub> (°C)	Δw%		
RC	29,54	87,99	120,03	10,01	191,02	293,27	403,26	57,15	397,12	444,9	471,33	9,72	474,8	528,45	600	16,45	-				6,18	
XPSLP	244,42	342,13	425,95	99,57	-				-										-	-	0,43	
XPSPC	233,48	333,85	412,6	99,59	-				-											-	-	0,41
EVASP	244,43	349,38	394,72	18,23	399,52	456,91	526,06	58,75	-							-	-					23,65
EVACP	267,12	345,89	404,33	23,23	406,73	461,75	532,19	63,17	-							-	-					13,24
excRCL1	31,83	59,69	129,35	9,1	183,18	279,09	376,05	56,23	379,53	432,31	476,78	17,91	480,26	515,35	597,85	13,12	-				3,61	
excXPSLP-L1	26,02	30,62	104,21	9,69	287,4	336,25	392,31	60,78	393,65	404,33	440,09	12,62	446,23	482,01	560,75	10,43	-				6,94	
excXPSPC-L1	25,2	53,29	90,4	5,64	230,01	335,19	383,24	70,88	389,91	404,33	436,62	12,65	475,87	481,62	551,35	6,76	-				4,94	
excEVASP-L1	30,68	59,17	139,25	5,8	141,38	202,51	220,4	5,42	222,8	392,31	448,64	55,07	451,04	465,19	504,6	9,31	509,5	523,65	598,93	8,33	15,9	
excEVACP-L1	26,19	42,61	111,28	6,11	132,82	397,78	486,9	72,57	495,25	515,21	598,92	9,1	-	-							10,31	
excRC-L2	31,67	59,17	157,13	11,12	161,94	288,47	389,91	57,29	396,05	440,09	473,46	11,46	477,2	530,86	598,93	18,82	-				0,21	
excXPSLP-L2	249,21	368,65	424,61	96,61	425,95	499,99	598,93	3,01	-							-	-				0,39	
excXPSPC-L2	259,91	373,36	431,82	99,69	434,22	455,58	598,23	0,32	-							-	-				0	
excEVASP-L2	29,53	58,1	120,03	3,18	127,24	222,8	231,08	4,52	232,41	350,67	424,61	52,33	428,35	466,52	471,33	9,23	475,87	520,18	589,32	18,97	10,37	
excEVACP-L2	31,67	61,57	138,18	5,56	140,32	348,27	435,29	61,18	437,69	521,25	598,21	26,94	-	-							5,97	

Fonte: autor

## CONCLUSÃO

Os excrementos gerados pelas larvas de *Zophobas morio* a partir do consumo das deitas alternativas de poliestireno expandido extrudado (XPS), limpo e pós consumo, foram parcialmente biodegradadas, e as larvas do grupo L1 (menores) foram capazes de se adaptar melhor a essa dieta polimérica.

No entanto, consumo do resíduo de EVA (com e sem pigmento) pelas larvas, apresentaram número de eventos térmicos diferentes, a amostra de excremento de EVA sem pigmento apresentou um maior número de eventos que EVA com pigmento, entretanto a biodegradação do polímero não sofreu influência do tamanho larval. Os resultados indicam um campo de pesquisa a ser explorado substancialmente, como uma alternativa aos processos de biodegradação convencionais.

## REFERÊNCIAS

Jiang, S.; Su, T.; Zhao, J.; Wang, Z. Biodegradation of Polystyrene by *Tenebrio molitor*, *Galleria mellonella*, and *Zophobas atratus* Larvae and Comparison of Their Degradation Effects. *Polymers* 2021, 13, 3539. <https://doi.org/10.3390/polym13203539>.

Mamtimin, T., Han, H., Khan, A. et al. Gut microbiome of mealworms (*Tenebrio molitor* Larvae) show similar responses to polystyrene and corn straw diets. *Microbiome* 11, 98 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01550-w>

Peng, B, Sun, Y, Wu, Z, Chen, J, Shen, C, Zhou, X, Wu, W, Zhang, Y, Biodegradation of polystyrene and low-density polyethylene by *Zophobas atratus* larvae: Fragmentation into microplastics, gut microbiota shift, and microbial functional enzymes. *Journal of Cleaner Production*, v. 367, 2022.

Shan-Shan Yang, Wei-Min Wu, Anja M. Brandon, Han-Qing Fan, Joseph P. Receveur, Yiran Li, Zhi-Yue Wang, Rui Fan, Rebecca L. McClellan,. Ubiquity of polystyrene digestion and biodegradation within yellow mealworms, larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: *Tenebrionidae*). *Chemosphere*, 212:262–271, 2018.

E.D. Tsochatzis, J.Alberto Lopes, M. Corredig, Chemical testing of mechanically recycled polyethylene terephthalate for food packaging in the European Union, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 179, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106096>.

Yang Y, Wang J, Xia M. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms *Zophobas atratus*. *The Science of the Total Environment*. 2020 Mar;708:135233. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135233. PMID: 31787276.