

Aplicação de interpolação na análise da degradação de resíduos orgânicos

Interpolation application in the analysis of organic waste degradation

RESUMO

André Luiz Neres Zanella
andrezanella@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Thelma Pretel Brandão Vecchi
thelma@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

José Hilton Bernardino de Araújo
jaraujo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Claison Cândido de Araújo
claison@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Wellington José Corrêa
wcorrea@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Enzo Dornelles Italiano
enzoitaliano@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

O descarte inadequado de resíduos orgânicos, tem impactado negativamente o meio ambiente. Pensando nisso, este trabalho visou buscar uma alternativa menos impactante. Utilizamos baratas da espécie *Nauphoeta cinerea*, durante um período de 42 dias, para verificar a eficiência desses indivíduos como degradadores de resíduos orgânicos. Três experimentos foram conduzidos em triplicata, variando o número de baratas (10, 20 e 30), disponibilizando alimento suficiente para estes. Verificou-se que os indivíduos atuaram como bons decompositores de resíduos orgânicos. O peso de resíduos consumidos por barata foi de 10.01g no experimento 1, 6.00g no experimento 2 e 4.22g no experimento 3. Essa variação pode ser justificada devido a utilização de baratas mais jovens no experimento 1. Além disso, o aumento percentual da massa de cada barata foi de 81.24% no experimento 1, 76.48% no experimento 2 e 68.32% no experimento 3. Os valores obtidos demonstram que essas baratas podem ser utilizadas como fonte de proteína animal, devido ao seu alto crescimento proteico. Com estes resultados, aplicamos o conceito de interpolação polinomial para modelar os experimentos, utilizando o método da *Spline* cúbica, para observar o comportamento da função e estimar valores não conhecidos, tanto no crescimento da massa, quanto no consumo de resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Biodegradação. Proteínas na nutrição animal. Matemática aplicada. Biotecnologia. Baratas.

ABSTRACT

The inadequate disposal of organic waste, has negatively impacted the environment. Thinking about that, this work aimed to search a less impactful alternative. We use cockroaches of the species *Nauphoeta cinerea*, over a period of 42 days, to verify the efficiency of these individuals as degraders of organic waste. Three experiments were conducted in triplicate, varying the number of cockroaches (10, 20 e 30), providing enough food for these. It was found that individuals acted as good decomposers of organic waste. The weight of waste consumed per cockroach was 10.01g in experiment 1, 6.00g in experiment 2 and 4.22g in experiment 3. This variation can be justified due to use of younger cockroaches in experiment 1. In addition, the percentage increase of mass of each cockroach was 81.24% in experiment 1, 76.48% in experiment 2 and 68.32% in experiment 3. The values obtained demonstrate that these cockroaches can be used as a source of animal protein, due to their high protein growth. With these results, we applied the concept of polynomial interpolation to model the experiments, using the cubic Spline method, to

Recebido:

Aprovado:

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença





observe the behavior of the function and estimate unknown values, both in mass growth and waste consumption.

KEYWORDS: Biodegradation. Proteins in animal nutrition. Applied mathematics. Biotechnology. Cockroaches.

INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos orgânicos, que são dispostos na maioria das vezes de maneira inadequada, em lixões e/ou aterros sanitários, que não possuem um conjunto de medidas necessárias para proteção do meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2016).

Essa disposição inadequada de resíduos orgânicos em aterros e lixões, gera metano em decorrência da condição anaeróbia desses, emitindo gases que contribuem para o efeito estufa (BIASI et al., 2018).

Cardoso (2016) cita que os insetos representam uma solução na questão de desperdício de alimentos, já que podem ser utilizados na biodegradação/valorização de resíduos, reduzindo a contaminação ambiental e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção animal.

A *Nauphoeta cinerea*, popularmente conhecida como barata, desempenha papel importante na decomposição, degradando tudo que seja de origem orgânica, podendo reduzir o tempo de permanência de resíduos na natureza. (TSAO et al., 1993; SUN e SCHARF, 2010; CARDOSO; 2016). Pensando nisso, uma alternativa que pode ser utilizada como parte do tratamento de resíduos orgânicos é a utilização de insetos, que tem como finalidade a degradação desses resíduos.

A espécie *N. cinerea* possui potencial de inserção como fonte de proteína animal, pois são consideradas fontes ricas de micronutrientes e altamente proteica (SOUSA et al., 2017). O teor de matéria orgânica do resíduo brasileiro está aproximadamente em 60%, valor este que indica um bom potencial energético (CORTEZ et al., 2008).

Os insetos possuem um ciclo de crescimento curto e convertem qualquer tipo de alimento em proteína rapidamente e, assim, crescem de uma maneira acelerada. Cada vez mais se tornam uma fonte viável de produção de proteína, uma vez que possui alto valor nutricional e causam menos impacto ambiental do que a criação de gado, por exemplo. Eles precisam de menos comida e água, podem ser criados em espaços menores, são fáceis de cuidar e produzem resíduos menos prejudiciais ao meio ambiente (FREUND, 2019).

Na Holanda uma empresa chamada *Protix*, cria insetos em fazendas para produção de ração animal rica em proteína que podem ser cultivados em vários tipos de restos de comida. Essa ração pode ser utilizada na criação de animais, como porcos, frangos, peixes e até como alimento de animais de estimação. Além de ser uma prática sustentável, é uma alternativa econômica, por se alimentarem de restos de resíduos orgânicos (GERALDES, 2017; FREUND, 2019).

A soja é a fonte de proteína mais barata para a criação de animais. O cultivo de soja gera muitos impactos negativos sobre o meio ambiente. Há anos ambientalistas chamam a atenção para o desmatamento de florestas para o estabelecimento de novas plantações de soja. A agricultura intensiva causa a erosão do solo, e a biodiversidade diminui. O uso de fertilizantes e pesticidas polui a água. Além disso, há o transporte global de soja em todo o mundo, que gera significativamente mais emissões do que a comercialização de proteínas de insetos (FREUND, 2019).

No que diz respeito a análise matemática, os métodos de interpolação polinomial são muito utilizados para aproximar uma função, principalmente quando não conhecemos sua expressão analítica, mas sabemos apenas seus valores em alguns pontos (geralmente obtidos através de experimentos) e necessitamos manipular, como por exemplo, calcular seu valor num ponto específico (SCHEMMER, 2013).

Spline cúbico é o método mais adequado a resolução de pontos tabelados e aproximações de funções, pois ao aproximarmos de cada ponto não temos picos e sim curvas suaves que se adaptam aos pontos. São curvas de terceiro grau usadas para conectar cada par de pontos dados. Essas funções são construídas de modo que as conexões entre equações cúbicas sejam visualmente lisas. Nas extremidades, a *spline* se torna menos curva, isso é chamado de um *spline* natural. Este método é extremamente trabalhoso e na maioria dos casos precisamos de auxílio computacional (SCHEMMER, 2013). Para este estudo utilizou-se códigos programados em *Python* no *Google Colab* para obter a resolução das *Splines* cúbicas e seu gráfico.

O objetivo do trabalho foi avaliar e quantificar a eficiência dos indivíduos como degradadores de resíduos orgânicos e seu posterior uso como proteína na nutrição animal, aplicando conceitos numéricos para o tratamento dos dados e obtenção de estimativas de pontos não coletados.

A seguir iremos mostrar como foi realizada a coleta de dados, os resultados obtidos, como utilizou-se o método da *Spline* cúbica e a conclusão do trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi executado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão. Utilizou-se baratas de laboratório da espécie *Nauphoeta cinerea*. A coleta de dados foi realizada toda semana na quinta-feira, iniciada no dia 16 de julho até o dia 27 de agosto de 2020, totalizando 7 coletas e 42 dias corridos, a partir do início do experimento.

As baratas foram armazenadas em recipientes fechados, que permitiam a entrada de ar através de furos na tampa. Colocou-se papelão nos recipientes, servindo como abrigo. Utilizou-se batata como fonte de alimento (representado o resíduo orgânico), porém poderia ter sido disponibilizado qualquer outro tipo de alimento ou resíduo. Todos os recipientes foram alocados dentro de uma estufa à 28 °C de temperatura, com o intuito de manter um ambiente mais quente.

Foram realizados três experimentos em triplicata. Para o experimento 1 foram utilizados três recipientes (pote 1, 2 e 3) com 10 baratas em cada pote; para o

experimento 2 três recipientes (pote 4, 5 e 6) com 20 baratas em cada pote; para o experimento 3 três recipientes (pote 7, 8 e 9) com 30 baratas em cada pote.

Em cada dia de coleta era realizada a manutenção nos 9 potes, que consistia na remoção do alimento previamente deixado e na introdução de um novo alimento. Além disso, era feita a contagem do número de baratas e a pesagem conjunta dos indivíduos de cada recipiente e da alimentação. Para isso, utilizou-se uma balança analítica com precisão de quatro casas decimais em gramas.

Para a coleta de dados, foram feitas médias a partir da triplicata de cada coleta do experimento, respeitando a variação do número de baratas de cada pote, ocasionado pela morte de algumas e até o possível nascimento de novas. Após a realização das coletas durante sete semanas seguidas, sempre às quintas-feiras, os dados relativos ao crescimento da massa de cada barata e a quantidade de alimento degradado por cada barata foram armazenados, para posterior tratamento.

Aplicou-se o conceito de interpolação polinomial para a plotagem gráfica dos pontos, utilizando especificamente o método da *Spline* cúbica, para a obtenção de um polinômio interpolador, com aproximações bastante suaves e realizada por partes (a cada par de pontos, obtém-se um polinômio interpolador). O objetivo desta interpolação é encontrar uma função que descreva suficientemente bem o comportamento dos pontos reais coletados, para que possam ser feitas estimativas para outros pontos do gráfico que represente o experimento.

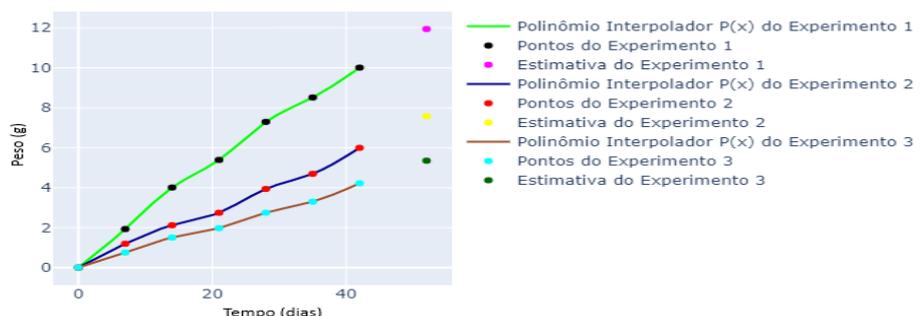
Utilizou-se o *Google Colab*, fornecida pela disciplina de Cálculo Numérico, com códigos programados em *Python* para obtenção da *Spline* cúbica, plotagem dos gráficos e a estimativa de pontos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de modelar uma função e realizar estimativas, aplicou-se o método de interpolação por *Spline* cúbica, para obter um polinômio que passe pelos pontos da tabela. Este método foi escolhido pelo fato de obter curvas mais suaves e ter uma boa aproximação. Para isso, é feita uma interpolação por partes, tendo um polinômio para cada intervalo entre os pontos.

A figura 1 apresenta as *Splines* cúbicas de cada experimento, demonstrando o peso (g) de batata consumida por uma barata no período de 42 dias, obtendo uma estimativa para o dia 52 (10 dias após a última coleta).

Figura 1 – Consumo de batata por indivíduo nos experimentos 1, 2 e 3



Fonte: Autoria própria (2020).

Observa-se, através da figura 1, que os indivíduos atuaram como bons decompositores de resíduos orgânicos nos 42 dias analisados, resultando em 10.01g de batata consumida por barata no experimento 1, 6.00g de batata consumida por barata no experimento 2 e 4.22g de batata consumida por barata no experimento 3. O experimento 1 obteve um maior consumo de batata por barata comparado aos outros, devido ao fato de terem sido selecionados indivíduos mais novos, que necessitam de mais alimento para crescer.

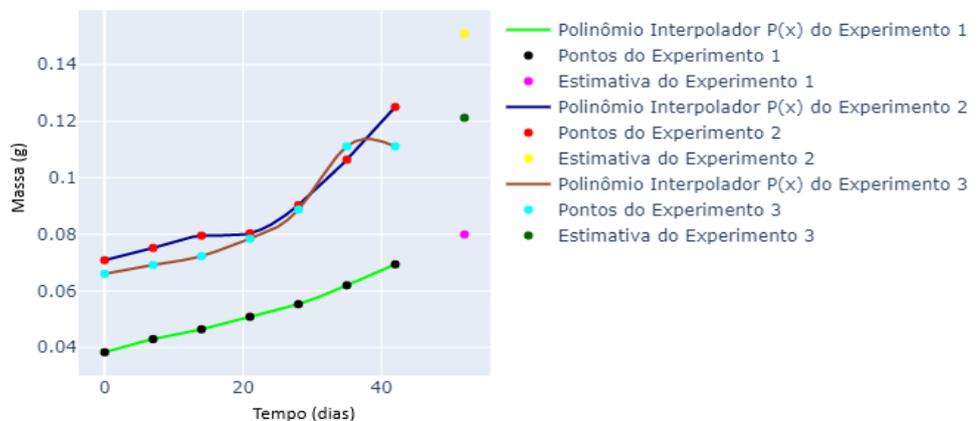
Como resultado da estimativa, no dia 52, o consumo de batata por cada barata, até este dia, seria de 11.94g no experimento 1, 7.75g no experimento 2 e 5.35g no experimento 3. De tal forma, a estimativa mostrou-se positiva, como observa-se pelo gráfico gerado, apresentando um crescimento linear.

Uma das vantagens de realizar a interpolação em experimentos reais, é a possibilidade, através do polinômio interpolador, de determinar valores não coletados do experimento.

A quantidade total de resíduos orgânicos consumidos nos experimentos 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 106.07g, 129.02g e 136.21g. De fato, era esperado que os indivíduos do experimento 3 consumissem uma maior quantidade de resíduos, por conta de serem um número maior (30 baratas).

A figura 2 descreve o gráfico obtido para cada experimento através das *Splines* cúbicas, apontando a massa (g) relativa a uma barata no período de 42 dias, tendo uma estimativa para o dia 52 (10 dias após a última coleta).

Figura 2 – Aumento da massa por indivíduo nos experimentos 1, 2 e 3



Fonte: Autoria própria (2020).

Assim sendo, obteve-se através dos cálculos, a partir do valor inicial, que o aumento percentual da massa de cada barata no experimento 1 (10 baratas) foi de 81.24%, no experimento 2 (20 baratas) 76.48% e no experimento 3 (30 baratas) 68.32%. Estas porcentagens demonstram que o aumento da massa das baratas foi muito alto, em um período curto de 42 dias.

Observando a figura 2, tem-se que no dia 52 a estimativa do aumento da massa de uma barata, através do polinômio interpolador, foi de 0.0800g no experimento 1, 0.1510g no experimento 2 e 0.1212g no experimento 3. Realizando novamente o cálculo do aumento percentual aproximado da massa de cada barata, obteve-se que, no experimento 1 seria de 109.00%, no experimento 2 de 113.14% e no experimento 3 de 83.62%.

Pode-se concluir então que, nos experimentos 1 e 2, a massa das baratas continuam aumentando de maneira bem significativa. Uma vez que, através da estimativa, observa-se que 10 dias após a última coleta, o percentual aumentou de 81.24% para 109.00% no experimento 1 e de 76.48% para 113.14% no experimento 2. Entretanto, no experimento 3, a massa das baratas aparenta estar aumentando de maneira menos significativa, já que pela estimativa, após 10 dias da última coleta, o percentual aumentou de 76.48% para 84.62%.

Desta forma, os indivíduos dos experimentos 1 e 2 (baratas mais jovens), irão aumentar de peso de maneira mais significativa, chegando a 109% e 113.14% pela estimativa, ou seja, dobrando o seu peso inicial. Já no experimento 3, o aumento do peso chegou a 84.62% pela estimativa, ou seja, estão aumento o peso de forma mais lenta, por serem adultas.

Para gerar as *Splines* cúbicas e os gráficos dos experimentos, os dados coletados do experimento foram armazenados no comando “pontos”, que contém os pares ordenados $[x, f(x)]$ e no comando “valor”, que é o valor a ser estimado. Considerou-se uma *Spline* cúbica natural, isto é, $\mu_0 = \mu_6 = 0$. Para fins de demonstração, utilizamos os dados do experimento 1 referente ao aumento de massa por indivíduo. A figura 3, mostra a resolução da *Spline* cúbica, seus coeficientes e os polinômios gerados.

Figura 3 – Resolução do método da *Spline* cúbica no *Google Colab* do experimento 1, aumento da massa por indivíduo

Usaremos o comando `spline(pontos,valor)`, que nos dará além da spline, o sistema linear e todos os coeficientes necessários para a obtenção da spline. O procedimento `spline_grafico(pontos,valor)` fornece a spline avaliada em $x = \text{valor}$ e exibe o gráfico da spline no intervalo $[a, b]$.

```
[7] pontos = [[0,0.03828],[7,0.042926667],[14,0.0464],[21,0.050831666],[28,0.055263333],[35,0.061946666],[42,0.06938]]
```

```
[8] valor = 52
```

```
[9] spline(pontos,valor)
```

```
Matriz =
[[[ 28.0  7.0  0.0  0.0  0.0
    7.0  28.0  7.0  0.0  0.0
    0.0  7.0  28.0  7.0  0.0
    0.0  0.0  7.0  28.0  7.0
    0.0  0.0  0.0  7.0  28.0]]]

B =
[[[-0.0010057148571428615
  0.0008214282857142907
  8.57142856691695e-10
  0.0019299994285714283
  0.0006428579999999996]]]
```

Spline natural: $\mu_0 = 0, \mu_6 = 0$

Resolvendo o sistema linear $M^*Y=B$, temos:

```
 $\mu_1 = -4.822e-05$   

 $\mu_2 = 4.92e-05$ 
```

Coefficientes dos polinômios da spline:

i	α	β	γ
0.0	0.0007200662380952381	0.0	-1.1480952380952382e-06
1.0	0.0005513037619047612	-2.411e-05	2.3195238095238097e-06
2.0	0.000554730142857143	2.46e-05	-1.915e-06
3.0	0.000617613619047619	-1.5615e-05	2.5466666666666663e-06
4.0	0.00077356857142857	3.7865e-05	-1.707142857142857e-06
5.0	0.0010525015238095237	2.015e-06	-9.595238095238096e-08

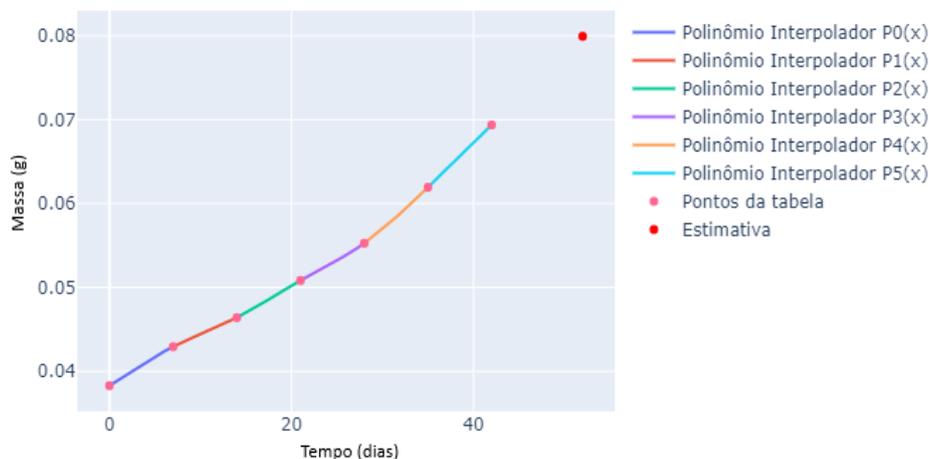
Spline cúbica natural:

```
P0(x) = -1.14809523809524e-6*x**3 + 0.000720066238095238*x + 0.03828 , Intervalo=[0,7]
P1(x) = 2.31952380952381e-6*x**3 - 7.282e-5*x**2 + 0.00122981376190476*x + 0.037090554 , Intervalo=[7,14]
P2(x) = -1.915e-6*x**3 + 0.00010503*x**2 - 0.00126008985714286*x + 0.048710138 , Intervalo=[14,21]
P3(x) = 2.5466666666667e-6*x**3 - 0.000176055*x**2 + 0.00464268361904762*x + 0.007390885 , Intervalo=[21,28]
P4(x) = -1.70714285714286e-6*x**3 + 0.000181265*x**2 - 0.00536228314285714*x + 0.100770701 , Intervalo=[28,35]
P5(x) = -9.5952380952381e-8*x**3 + 1.209e-5*x**2 + 0.000558826523809524*x + 0.031691446 , Intervalo=[35,42]
```

Fonte: Autoria própria (2020).

A figura 4 apresenta, por fim, o gráfico do polinômio interpolador $P(X)$ obtido.

Figura 4 – Aumento da massa por indivíduo no experimento 1



Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

A partir deste trabalho foi possível concluir que os objetivos foram alcançados, já que os indivíduos *Nauphoeta cinerea* apresentaram-se como uma ótima alternativa de degradação de resíduos orgânicos, visto que os resultados foram positivos. Essa experiência representa uma ótima solução ambiental para o descarte inadequado de resíduos.

Além disso, o uso dos indivíduos *N. cinerea* como fonte de proteína animal é extremamente vantajosa, pelo fato de serem ricos em proteína e seu aumento de massa ser muito rápido.

Pelas estimativas calculadas através do método da *Spline* cúbica observou-se que em 52 dias (a partir do início dos experimentos), nos experimentos 1 e 2, a massa das baratas iriam dobrar de valor, ou seja, em um período curto tem-se um resultado muito eficaz quanto ao uso das baratas como fonte de proteína animal.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação Araucária pela concessão de bolsa para realização deste trabalho. À minha orientadora Thelma pela oportunidade, apoio e confiança. Ao professor Hilton pelos ensinamentos, ajuda e disponibilidade.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, S. A. E. **Utilização de insetos na alimentação humana e animal.** Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa. 2016. Disponível em:

<https://core.ac.uk/download/pdf/84897611.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2020.

TSAO, R.; ANDERSON, T.A.; COATS, J.R. The influence of soil macroinvertebrates on primary biodegradation of starch-containing polyethylene films. **Journal of environmental Polymer degradation**, v. 1, n.4, p. 301–306, 1993. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/BF01458297>. Acesso em: 25 ago. 2020.

SOUSA, C. E. F.; MELO, D. C. F.; SANTANA, G. O.; MINAS, R. S.; KWIATKOWSKI, A. **Inserção de insetos na alimentação humana como alternativa nutricional**. FEBRACE - Feira Brasileira de Ciências e Engenharia. São Paulo - SP: EPUSP, 2017. v. 1. p. 183-183. 2017. Disponível em:

<http://2017.febrace.org.br/virtual/2017/poster/124/>. Acesso em: 25 ago. 2020.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. **Biomassa Para Energia**. Campinas: Unicamp, 2008. 732 p. Disponível em:

<https://www.nipe.unicamp.br/docs/publicacoes/inte-biomassa-energia070814.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

BIASI, C.A.F.; MARIANI, L.F.; PICINATTO, A.G.; ZANK, J.C.C. **Energias Renováveis na Área Rural da Região Sul do Brasil**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2018. 202 p.

ABRELPE. Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública E Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo: ABRELPE, 2016. Disponível em:

https://www.mpdf.mp.br/portal/pdf/comunicacao/junho_2018/panoramaanexos2016.pdf. Acesso em: 01 set. 2020.

SUN, J. Z.; SCHARF, M. E. Exploring and integrating cellulolytic systems of insects to advance biofuel technology. **Insect Science**, v. 17, n. 3, p. 163-165, 2010. Disponível em:

https://www.hkab-shellcarving.com/_local/D/2E/BC/74DA7F8249D1FC83AD5E3722B54_47E30969_EB37.pdf. Acesso em: 31 ago. 2020.

SCHEMMER, Rosangela Carline. **Métodos de interpolação polinomial**. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3558>. Acesso em: 31 ago. 2020.

FREUND, A. Insetos como alternativa para ração animal. **DW Brasil**, 17 jun. 2019. Disponível em:

<https://p.dw.com/p/3KIV2>. Acesso em: 1 set. 2020.

GERALDES, D. Protix recebe 45 milhões de euros de fundos para a produção em escala de proteínas de insetos. **Editora Stilo**, 27 jun. 2017. Disponível em:

<https://www.editorastilo.com.br/protix-recebe-45-milhoes-de-euros-de-fundos-para-producao-em-escala-de-proteinas-de-insetos/>. Acesso em: 29 ago. 2020.