

**Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística**

Centro de Estatística Aplicada

Relatório de Análise Estatística

RAE-CEA-19P21

RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE O PROJETO:

“Transferência maternal de Poluentes Orgânicos Persistentes em três espécies de tartarugas-marinhas: *Caretta caretta*, *Chelonia mydas* e *Lepidochelys olivacea*”

**Alexandre Galvão Patriota
Brenda Caroline de Castro Pedro
Laís Heloísa Pozzo**

São Paulo, novembro de 2019

CENTRO DE ESTATÍSTICA APLICADA - CEA – USP

TÍTULO: Relatório de Análise Estatística sobre o Projeto: “Transferência maternal de Poluentes Orgânicos Persistentes em três espécies de tartarugas-marinhas: *Caretta caretta*, *Chelonia mydas* e *Lepidochelys olivacea*”.

PESQUISADORA: Luciana Saraiva Filippos

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a Rosalinda Carmela Montone

INSTITUIÇÃO: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

FINALIDADE DO PROJETO: Doutorado

RESPONSÁVEIS PELA ANÁLISE: Alexandre Galvão Patriota
Brenda Caroline de Castro Pedro
Laís Heloísa Pozzo

REFERÊNCIA DESTE TRABALHO: PATRIOTA, A.G.; PEDRO, B.C.C.; POZZO, L.H. Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Transferência maternal de Poluentes Orgânicos Persistentes em três espécies de tartarugas-marinhas: *Caretta caretta*, *Chelonia mydas* e *Lepidochelys olivacea*”. São Paulo, IME-USP, 2019. (RAE–CEA-19P21)

FICHA TÉCNICA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ANDRADE, M. P. Agência Universitária de Notícias - AUN (2019). **Estudo quer descobrir nível de contaminação de tartarugas**. São Paulo: Disponível em <<https://paineira.usp.br>>. Acessado em 04 de Outubro de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, et al (2015). **Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes**. Brasília: Disponível em <<https://www.mma.gov.br>>. Acessado em 04 de Outubro de 2019.

JONES, K. C., VOOGT, P. (1999). **Persistent organic pollutants (POPs): state of the science**. Environmental Pollution 100, 209 - 221.

PAULA, G. A. (2004). **Modelos de Regressão com Apoio Computacional**. IME/USP, São Paulo: Disponível em <<https://www.ime.usp.br/~giapaula>>. Acessado em 16 de Novembro de 2019.

RODRIGUES, S. J. (2016). **Análise de diagnóstico em modelos de regressão ZAGA e ZAIG**. UFSCAR, São Carlos: Disponível em <<https://repositorio.ufscar.br>>. Acessado em 23 de Outubro de 2019.

PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS:

Microsoft Word para Windows (versão 2016).

Microsoft Excel para Windows (versão 2016).

R para Windows (versão 3.5.0).

TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS:

Análise Descritiva Unidimensional (03:010).

Análise Descritiva Multidimensional (03:020).

ÁREA DE APLICAÇÃO:

Bioestatística (14:030).

Ciências do Ambiente e Ecologia (14:060).

Resumo

Os Poluente Orgânicos Persistentes (POPs) são substâncias sintéticas e amplamente utilizadas em meados da segunda Guerra Mundial. Esses poluentes eram comumente utilizados no setor agrícola como inseticidas e praguicidas e na saúde pública. Eles apresentam as seguintes características: persistir no ambiente em longos períodos, baixa degradação e alta estabilidade, além de serem transmitidos ao longo da teia trófica. Em 2004, esses poluentes foram banidos e restringiram a sua produção e uso para 152 países.

Este estudo tem como objetivo investigar se há presença dos POPs nos plasma de três espécies de tartarugas marinhas: verde, oliva e cabeçuda, mesmo que em pequenas quantidades. Além disso, avaliar a contaminação dos poluentes com os indicadores ecológicos, região de forrageio e nível trófico.

A análise estatística dos dados foi realizada para cada poluente individualmente. Na análise descritiva, cada poluente foi investigado conforme os indicadores ecológicos e o tipo de espécie. Notou-se que o poluente com maior concentração encontrado no plasma das três espécies de tartarugas foi o PCB. Além disso, as tartarugas cabeçudas apresentaram maiores concentrações de poluentes se comparadas às outras espécies.

Para obtenção dos resultados e avaliar a análise descritiva, foram utilizadas metodologias apropriadas para os dados dos poluentes que são positivos e assimétricos (Modelos lineares generalizado com resposta gama) e para dados dos poluentes que são inflacionados no limite de quantificação (Modelos inflacionados de zeros com resposta gama). As principais conclusões foram: a tartaruga-cabeçuda é a mais contaminada pelo poluente PCB, além disso é 251% maior do que a contaminação média para as tartarugas-verdes. Já o poluente HCH, com o aumento de uma unidade na porcentagem de carbono gera uma redução de 31,1% na contaminação média para as olivas. A tartaruga-cabeçuda apresentou contaminação média de 181% maior do que a contaminação média nas tartarugas-verdes, considerando o poluente Clordana. Para o poluente DDT, as tartarugas-olivas possuem uma concentração média de 224% maior do que a verdes. Já para o poluente PBDE, conclui-se que com o aumento de uma unidade na variável

porcentagem de carbono, provoca no aumento de 30,8% na concentração média do poluente. Posteriormente, para o poluente HCB, as tartarugas-cabeçudas possuem contaminação média 231,2% maior que as tartarugas-verdes. Por fim, para o poluente Mirex, há uma redução de 67% na concentração média, para cada aumento de uma unidade na %N.

Sumário

1. Introdução	8
2. Objetivos	9
3. Descrição do estudo	9
3.1. Delineamento do estudo.....	9
3.2. Coletas	10
3.3. Materiais.....	11
4. Variáveis explicativas	11
4.1. Isótopos estáveis.....	11
4.2. Biometria	12
4.3. Outras variáveis	12
5. Variáveis respostas	13
6. Análise descritiva	14
7. Análise inferencial	20
7.1. Modelo linear generalizado (MLG)	21
7.2. Modelos gama inflacionados no zero	26
8. Conclusões	35
APÊNDICE A – Tabelas	38
APÊNDICE B – Figuras	48

1. Introdução

Os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) são substâncias orgânicas de grande estabilidade química. Alguns exemplares desses poluentes são altamente tóxicos e de baixa capacidade de degradação, podendo permanecer no ambiente por longos períodos. São comumente encontrados em diversos organismos aquáticos e terrestres (Jones & Voogt, 1999), pois se bioacumulam nos seres vivos, sendo transmitidos ao longo da cadeia alimentar.

A princípio, esses poluentes foram elaborados no contexto da Segunda Guerra Mundial e foram introduzidos na sociedade na produção industrial e na forma de insumos agrícolas e pesticidas, o que tornou a produção agrícola muito eficiente. Contudo, os efeitos adversos tanto nos seres humanos quanto no meio ambiente somente foram detectados anos após a implementação. Após as descobertas desses efeitos foi realizada uma ação internacional para combater o uso e produção dessas substâncias. Logo, a Convenção de Estocolmo foi o marco da cooperação mundial para adotarem medidas de controle em relação a essas substâncias. O tratado determina que os governos promovam as melhores tecnologias e práticas e previnam o desenvolvimento de novos POPs, visando a eliminação total desses poluentes (MMA, 2015).

A presença desses poluentes na natureza interfere na cadeia alimentar e compromete a vida das tartarugas-marinhas, sendo uma das principais causas da sua extinção. Essas substâncias entram no organismo, preferencialmente, na alimentação e são acumuladas nas reservas de gordura. Desta forma, podem causar problemas nervosos e hormonais e interferência no metabolismo, além de alterar a resposta imunológica das tartarugas. Ademais, acredita-se que pode haver transferência maternal desses compostos para os filhotes (Andrade, 2019). Em particular, as tartarugas-fêmeas ao gerarem ovos necessitam da gordura animal, então esses poluentes acabam passando na produção do ovo, mobilizando as gorduras contaminadas para os seus componentes.

Este trabalho analisa a contaminação das tartarugas-marinhas considerando indicadores ecológicos envolvendo a região de forrageio, ou seja, se elas se alimentam próximo da costa ou mais distante, assim como os níveis tróficos das

espécies e relacioná-los com a quantidade de poluentes orgânicos encontrados nos seus organismos.

2. Objetivos

O projeto de pesquisa no qual este relatório se baseia tem o objetivo de avaliar a contaminação dos Poluentes Orgânicos Persistentes encontrados nos plasmas das fêmeas de três diferentes espécies de tartarugas-marinhas: *Chelonia mydas* (Tartaruga-verde), *Caretta caretta* (Tartaruga-cabeçuda) e *Lepidochelys olivacea* (Tartaruga-oliva). Além disso, relacionar esta concentração com os isótopos estáveis encontrados nas células-vermelhas, os quais indicam a região de forrageio e o nível trófico do animal. Ademais, a análise busca comparar a contaminação entre as espécies afetadas.

3. Descrição do estudo

3.1. Delineamento do estudo

Nesta primeira fase, a amostra é constituída por 78 fêmeas adultas saudáveis de três tipos de espécies de tartarugas-marinhas, sendo elas:

- Tartaruga-verde: 31 indivíduos.
- Tartaruga-cabeçuda: 28 indivíduos.
- Tartaruga-oliva: 19 indivíduos.

Para determinar a escolha das espécies no estudo, foram considerados os hábitos alimentares e a logística da coleta. As tartarugas-verdes quando jovens se alimentam de tudo, porém quando adultas, apresentam uma dieta herbívora e se alimentam de gramíneas e algas. Já as tartarugas-cabeçudas apresentam uma dieta carnívora, pois se alimentam, sobretudo, de organismos bentônicos, os quais vivem em um substrato dos ambientes aquáticos e comem, principalmente, moluscos (bivalves gastrópodes) e crustáceos, como exemplo, os caranguejos. De modo igual, as tartarugas-olivas apresentam uma dieta carnívora, porém alimentam-se,

especialmente, de peixes e crustáceos, como caranguejo e camarão.

3.2. Coletas

A coleta foi realizada em diferentes regiões da costa brasileira: Atol das Rocas e o litoral da Bahia e Sergipe, com apoio do Projeto Tamar e da Reserva Biológica do Atol das Rocas. O Atol fica localizado entre o litoral de Natal e a ilha de Fernando de Noronha, a qual se encontra no meio do Atlântico. Na fase da coleta, foram consideradas as regiões em que as tartarugas mais frequentam. No caso da tartaruga-verde, a sua coleta ocorreu no Atol das Rocas, por ser o segundo maior lugar de reprodução da espécie. Já para a tartaruga-cabeçuda, o principal lugar de desova é no litoral norte da Bahia, enquanto que a tartaruga-oliva desova tanto no litoral norte da Bahia quanto em Sergipe.

A gestão das coletas ocorreu de forma parecida em todas as regiões, onde grupos de guias e pesquisadores realizaram patrulhas noturnas nas praias com o objetivo de encontrar tartarugas-fêmeas no momento da desova. Ao abordarem o animal, foi feita a identificação da espécie e, posteriormente, coletaram-se o sangue e as medidas biométricas das tartarugas. Também, foi feita a identificação dos ninhos da fêmea para monitorar o nascimento, realizar a contagem do sucesso de eclosão e coletar os ovos não eclodidos para análise em laboratório.

Além disso, no banco de dados há repetições de coletas de sangue da mesma tartaruga. A tartaruga após desovar, quando retornava à praia, era identificada e o seu sangue era coletado novamente. Como há poucos indivíduos que contêm estas recoletas, só será possível fazer a análise no tempo descritivamente, sem dar andamento a uma análise inferencial. Ademais, estas repetições só foram feitas para as tartarugas-verdes. As quantidades de medidas repetidas presentes na amostra são:

- Coletas das variáveis explicativas: 5 indivíduos, sendo 4 coletados duas vezes e 1 coletado três vezes.
- Coletas das variáveis respostas: 4 indivíduos coletados duas vezes.

Portanto, para seguir adiante com as análises, foram consideradas as médias dessas coletas, desta forma, não há perda de informação para esses indivíduos.

3.3. Materiais

A análise do sangue coletado foi feita por meio de uma centrífuga que fraciona o sangue em seus principais componentes: células vermelhas e plasma. A partir do plasma é possível analisar as concentrações de contaminantes nas fêmeas. Já as células vermelhas são usadas para analisar as porcentagens de isótopos estáveis. A escolha deste método de análise decorreu das baixíssimas concentrações estudadas e, conseqüentemente, da necessidade de indicadores extremamente sensíveis.

As medidas biométricas foram obtidas por meio de uma fita flexível para se ajustar ao casco curvilíneo das tartarugas.

4. Variáveis explicativas

Nesta seção estão descritas as variáveis que compõem o banco de dados e que podem explicar a contaminação de Poluentes Orgânicos Persistentes presentes no plasma de três espécies de tartarugas-marinhas.

4.1. Isótopos estáveis

As variáveis a seguir são definidas como Isótopos estáveis, sintetizando o indicativo ecológico do animal:

- **C Orgânico (%):** porcentagem de carbono orgânico presente nas células vermelhas.
- **N Total (%):** porcentagem de nitrogênio total presente nas células vermelhas.
- **$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰):** razão isotópica de carbono.
 - Para as tartarugas-verdes: menor ou igual a -18,9 e maior que -18,9.
 - Para as tartarugas-cabeçudas: menor ou igual a -16,3 e maior

que -16,3.

- Para as tartarugas-olivas: menor ou igual a -18,9 e maior que -18,9.
- $\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (‰): razão isotópica de nitrogênio.
 - Para as tartarugas-verdes: menor ou igual a 5,8 e maior que 5,8.
 - Para as tartarugas-cabeçudas: menor ou igual a 7,9 e maior que 7,9.
 - Para as tartarugas-olivas: menor ou igual a 8,9 e maior que 8,9.

Deste modo, tem-se as quantidades de carbono orgânico e nitrogênio total presente no sangue, além disso, a variável razão isotópica de carbono que avalia o lugar em que o indivíduo se alimenta, a qual indica quão mais próximo da costa ou na região oceânica, e a razão isotópica de nitrogênio, a qual indica o nível trófico do animal. Como estas variáveis são contínuas e medidas por partes por mil, então consideram-se duas formas de análise: uma considerando a natureza contínua sem categorizá-las e outra categorizando-as. As categorizadas foram divididas da seguinte forma: valores do índice abaixo ou igual a mediana de cada espécie e valores do índice acima da mediana de cada espécie. Assim, pode-se analisar graficamente a interação entre os isótopos estáveis citados e a variável de interesse.

4.2. Biometria

As variáveis aqui descritas informam o tamanho do indivíduo em termos do comprimento e da largura curvilínea do casco:

- **CCC (cm)**: comprimento curvilíneo do casco.
- **LCC (cm)**: largura curvilínea do casco.

4.3. Outras variáveis

Por fim, as variáveis a seguir descrevem as espécies que compõem a análise e a quantidade de teor de lipídeos presente na amostra do sangue:

- **Teor de lipídeos (%):** porcentagem de matéria orgânica da amostra extraída pelo solvente que utiliza-se na análise.
- **Tipo de espécie:** tartaruga-verde, tartaruga-cabeçuda e tartaruga-oliva.

5. Variáveis respostas

As variáveis a seguir determinam a quantidade de concentração de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) presente no plasma do animal, logo estas são as variáveis de interesse do estudo. Nesta pesquisa, foram avaliados 70 compostos divididos em pesticidas, PCBs e PBDEs que fazem parte do grupo dos POPs em amostra de plasma das tartarugas. Revela-se que os poluentes com características similares foram agrupados na mesma categoria, desta forma, denominamos as categorias como somatória do composto em destaque:

- \sum **HCH (ng/g):** somatória dos quatro poluentes classificados como HCH.
- \sum **Clordana (ng/g):** somatória dos três poluentes classificados como Clordana.
- \sum **DDT (ng/g):** somatória dos seis tipos de poluentes com características comuns ao DDT.
- \sum **PCB (ng/g):** somatória dos 48 tipos de poluentes PCBs.
- \sum **PBDE (ng/g):** somatória dos sete poluentes classificados como PBDE.
- **HCB (ng/g):** poluente Hexaclorobenzeno.
- **Mirex (ng/g):** poluente Mirex.

Às quantidades de poluentes que apresentam valores menores que o limite de quantificação (LQ) foram designados valores numéricos determinados. Os poluentes da categoria PCB indicam valores de LQ igual a 0,0025 ng/g, os demais poluentes

apresentam LQ igual a 0,005 ng/g.

6. Análise descritiva

Esta etapa consiste, inicialmente, em apresentar distribuições e tabelas de frequências com o intuito de retratar a amostra segundo as variáveis explicativas descritas anteriormente.

A Tabela A.1 do Apêndice A e as Figuras B.1 e B.2 do Apêndice B apresentam as variáveis de biometria, quais sejam: comprimento e largura curvilínea do casco das tartarugas. Pela Tabela A.1, nota-se que dentre as três espécies de tartarugas, a tartaruga-verde é a espécie com maior comprimento e largura, seguida pela tartaruga-cabeçuda e posteriormente pela tartaruga-oliva.

Quando relacionamos a concentração de poluentes e as duas medidas biométricas (Figuras B.1 e B.2), observa-se que tanto o comprimento (CCC) quanto à largura (LCC) das tartarugas das três espécies não são associados à concentração de poluentes no organismo. Desta forma, ambos os gráficos apresentam somente a informação sobre qual espécie possui maiores medidas.

As Tabelas A.2, A.3 e A.4 apresentam as medidas descritivas das variáveis de Isótopos estáveis para cada uma das três espécies. Os resultados, observando as três tabelas conjuntamente, indicam que o valor médio da razão isotópica de carbono das tartarugas-verdes (-18,66‰) é mais próximo do valor médio das tartarugas-olivas (-18,8‰), se comparado ao valor médio da razão isotópica das tartarugas-cabeçudas (-16,41‰). Além disso, em média, as porcentagens de nitrogênio total são iguais para as tartarugas verde e oliva.

Ademais, estas tabelas ainda indicam o nível trófico dos animais, representado pela razão isotópica de nitrogênio (N). Quanto maior o valor da razão isotópica de N, maior será o nível trófico da tartaruga. Esta relação é bem observada entre as espécies, por exemplo, a tartaruga-verde, por ser herbívora, possui o menor nível trófico médio (6,09‰), seguida pela tartaruga-cabeçuda (7,90‰) e pela tartaruga-oliva com o maior nível trófico (8,93‰), sendo que as duas últimas são classificadas como carnívoras.

Já as Tabelas A.5, A.6 e A.7 apresentam as medidas descritivas para as concentrações de poluentes. Nas três espécies, o poluente PCB possui as maiores concentrações médias encontradas no plasma das fêmeas.

A Figura B.3 e B.4 exibem as distribuições das concentrações dos poluentes para cada espécie de tartarugas-marinhas. O poluente PCB ocorre em maior nível de concentração no plasma sanguíneo de todas as espécies. Além disso, as tartarugas-verdes possuem a menor quantidade de concentração em todos os poluentes, seguido das tartarugas-olivas. O poluente HCB tem a maioria das observações com valores do limite de quantificação (LQ), enquanto o Mirex, apenas a tartaruga-oliva apresenta valores maiores que LQ. Já as tartarugas-cabeçudas têm maior nível de concentração para quase todos os poluentes apresentados. Para os poluentes DDT e PBDE (Figuras B.5 e B.6), os gráficos de densidade foram apresentados separadamente para a melhor visualização da distribuição de concentração nas espécies. As tartarugas-verdes possuem concentrações baixas do poluente DDT, sendo que a maior parte da amostra está no limite de quantificação (LQ). Já para as olivas, as concentrações também são baixas, porém existem alguns indivíduos na amostra com concentrações acima do LQ. Esse fenômeno não ocorre para a tartaruga-cabeçuda, a qual apresenta maior nível de concentração. Esse mesmo efeito se aplica aos outros poluentes; exceto para o PBDE, neste caso, as tartarugas-olivas apresentam maior nível de concentração quando comparadas às outras.

Com relação ao poluente HCH e a razão isotópica de carbono, o gráfico apresentado na Figura B.7 sugere que não há associação entre a razão de carbono e a concentração de poluentes para as tartarugas-verdes, visto que as medianas dos dois grupos são parecidas. Entretanto, para as tartarugas-cabeçudas e tartarugas-olivas, notam-se diferenças presentes entre as distribuições dentro da mesma espécie, indicando uma possível associação entre as concentrações de HCH e os valores da razão isotópica de carbono categorizada pela mediana de cada espécie. Ademais, entre todas as espécies, a tartaruga-cabeçuda possui maiores concentrações do poluente HCH no plasma quando comparada às outras espécies. Já a tartaruga verde possui valores mais homogêneos, ou seja, menor variabilidade dos dados (Figura B.8).

A Figura B.9 apresenta as distribuições das concentrações do poluente

Clordana separada pela mediana da razão isotópica de carbono de cada espécie. Este gráfico parece sugerir que somente as tartarugas-cabeçudas possuem relação entre as quantidades desse poluente e a razão de carbono. Já as espécies verde e oliva, considerando tanto os valores da razão isotópica de carbono acima da mediana quanto abaixo da mediana, possuem valores menores que os limites de quantificação. Por meio da Figura B.10, nota-se que a dispersão dos dados para as tartarugas-verdes é mais homogênea do que as demais, além disso, para as três espécies, tem-se muitos valores próximos de zero (menor que o limite de quantificação).

O gráfico de *box plot* da combinação entre o poluente DDT e a razão isotópica de carbono (Figura B.11) indica que há associação entre essas duas variáveis somente para a espécie cabeçuda. Esse gráfico destaca que os primeiros quartis de ambos os grupos da tartaruga-cabeçuda são maiores que os terceiros quartis das outras duas espécies, sendo assim, há uma grande diferença entre as espécies e dentro da espécie cabeçuda. A falta de associação das tartarugas verdes e das olivas também pode ser vista na Figura B.12, em que as concentrações de DDT são sempre próximas de zero para qualquer valor da razão isotópica de carbono. Já para a tartaruga-cabeçuda, a variabilidade dos dados é alta e aparenta aumentar a concentração de DDT à medida que se aumentam os valores da razão isotópica de carbono.

As Figuras B.13 e B.14 sugerem que as tartarugas-verdes possuem variabilidade baixa e não aparentam ter associação entre as concentrações do poluente PCB e a razão isotópica de carbono. Já a distribuição da tartaruga-cabeçuda sugere haver associação entre as concentrações do poluente e a razão de carbono, dado que as medianas são diferentes para esses animais dentro da mesma espécie. Em se considerando as tartarugas-olivas, observam-se diferenças nas distribuições dentro da mesma espécie, como nas medianas e na variabilidade dos dados, indicando haver associação entre as concentrações de PCB e os valores de razão isotópica de carbono categorizada.

A Figura B.13 também informa que, dentre os três tipos de espécies, a cabeçuda apresenta as maiores concentrações do contaminante PCB no plasma, seguida das tartarugas-olivas e por sua vez pelas tartarugas-verdes. Outrossim, para as cabeçudas e as olivas, cujos valores da razão isotópica de carbono encontram-se

acima da mediana, possuem concentrações maiores de poluentes. É importante ressaltar que o poluente PCB é o poluente com maior concentração no organismo de todas as espécies.

Com relação ao poluente PBDE, os gráficos apresentados nas Figuras B.15 e B.16 sugerem que não existe relação entre a concentração de PBDE e os valores da razão isotópica de carbono, exceto para as tartarugas-olivas. Por meio de ambos os gráficos, percebe-se que esse poluente só foi encontrado em concentrações maiores nas tartarugas-olivas; já para as outras espécies, a concentração de todos os pontos são menores que o limite de quantificação e, portanto, não possui variação.

Para o poluente HCB (Figuras B.17 e B.18), nota-se poucas observações com valores de contaminação acima do limite de quantificação, em destaque, há uma observação da espécie cabeçuda que apresenta contaminação maior que 0,01 ng/g.

O poluente Mirex (Figuras B.19 e B.20) apresenta poucas observações acima do limite de quantificação, as espécies verdes e cabeçudas tem todas as observações com contaminação nesse limite. Já para as olivas, há algumas observações que apresentam contaminações maiores que o limite, em especial, há um observação com contaminação acima de 0,1 ng/g desse poluente.

Quando relacionamos o poluente HCH e a razão isotópica de nitrogênio (Figura B.21), não aparenta ter uma associação entre a concentração de poluente e razão de nitrogênio, pois as medianas para os dois grupos em cada espécie estão próximas. Porém, a Figura B.22 destaca que indivíduos de espécie verde com razão de nitrogênio menor ou igual 5,8 possuem uma dispersão relevante. Entretanto, as tartarugas-cabeçudas apresentam maiores quantidades desse poluente e maior dispersão comparada às outras.

Analogamente, na Figura B.23 verifica-se o poluente Clordana. De modo geral, não é possível notar alguma diferença na concentração de poluente e na razão isotópica de nitrogênio. Neste caso, é possível explicar que as tartarugas-verdes com razão de nitrogênio menor que 5,8 e as tartarugas-cabeçudas, menor que 7,9 apresentam menores quantidades de poluente no plasma. Igualmente, na Figura B.24, notam-se os pontos mais espalhados para as tartarugas-cabeçudas e olivas, enquanto as tartarugas-verdes apresentam pontos mais unidos e menores que o limite de quantificação.

As Figuras B.25 e B.26 mostram que dentre as três tartarugas, a cabeçuda é a única que demonstra ter uma diferença entre a razão isotópica de nitrogênio e DDT, além disso, apresenta maior variabilidade. Em particular, há indivíduos da espécie oliva que apresentam concentração maior de poluente.

Relacionando o poluente PCB e razão isotópica de nitrogênio (Figuras B.27 e B.28), constata-se que as tartarugas-verdes possuem variabilidade baixa e não aparentam ter associação entre as concentrações e razão de nitrogênio. Já as tartarugas-cabeçudas indicam esta associação. As tartarugas-olivas não parecem ter a associação de poluente e razão de nitrogênio, porém nota-se uma variabilidade na concentração para alguns indivíduos desta espécie.

Para o poluente PBDE, nas Figuras B.29 e B.30, não aparentam haver associação entre as concentrações de poluente e razão de nitrogênio. Ademais, as tartarugas-verdes e cabeçudas apresentam concentrações muito próximas do limite de quantificação. Diferentemente para as olivas que apresentam uma variabilidade maior de concentração para esse poluente.

O poluente HCB (Figuras B.31 e B.32) apresenta poucas observações com valores acima de limite de quantificação. Em destaque a tartaruga-cabeçuda têm observações com maiores contaminações.

Nas Figuras B.33 e B.34, é possível observar que as tartarugas de espécies verde e cabeçuda apresentam contaminação no limite de quantificação do poluente Mirex, enquanto a oliva apresenta valores acima desse limite.

A Figura B.35 exibe a relação entre a concentração de poluentes e a variável teor de lipídeos. Este gráfico indica que não há associação entre essas duas variáveis, indicando que para qualquer valor de concentração nos 7 grupos de poluentes, o teor de lipídeos será sempre baixo. Entretanto, para a espécie oliva há um ponto que possui teor de lipídeos acima de 1,5%, destoando dos teores encontrados para essa espécie e podendo influenciar as análises posteriores. Denominamos essa observação como ponto de alavanca, ou seja, quando a variável explicativa é extrema e aparenta influenciar a distribuição dos dados tanto na direção da variável resposta como na direção do espaço das variáveis preditoras.

Desta forma, a Figura B.35 foi refeita sem esse ponto de alavanca (Figura B.36). Este gráfico mostra uma melhora na visualização da distribuição dos dados,

pois a escala do eixo X (teor de lipídeos) está bem ajustada para as três espécies, variando agora de 0 a 0,4%. A relação entre o teor de lipídeos e a concentração dos poluentes parece não existir para as tartarugas-olivas, sendo observado que, independentemente da concentração dos poluentes, o teor de lipídeos sempre é baixo. Já as tartarugas-cabeçudas possuem dados com maior variabilidade e não aparentam ter uma associação entre as concentrações dos POPs e o teor de lipídeos. Contudo, para as tartarugas-verdes, não é possível descartar a hipótese de uma possível associação entre as concentrações de POPs e o teor de lipídeos.

As Figuras B.37 a B.40 trazem a matriz de correlação entre as variáveis quantitativas do estudo. A matriz de correlação é uma matriz quadrada cujos elementos são as correlações entre as variáveis analisadas, neste caso, os 7 grupos de poluentes, as variáveis de isótopos estáveis e o teor de lipídeos. Na diagonal principal todos os elementos são iguais a 1, visto que cada variável é totalmente correlacionada com ela mesma. Nos gráficos, acima da diagonal principal, tem-se o valor da correlação para cada combinação das variáveis, duas a duas; já abaixo da diagonal principal, tem-se elipses que indicam a força (estreitamento da elipse) e a direção dessa correlação (crescente ou decrescente).

Na Figura B.37, para as tartarugas-verdes, verifica-se uma correlação de 0,57 entre os poluentes HCH e o PCB, ou seja, o aumento das concentrações de PCB no plasma pode acarretar no aumento das concentrações de HCH. Além disso, há uma correlação de 0,6 entre o poluente DDT e a razão isotópica de nitrogênio (N), indicando uma relação entre o aumento da razão isotópica de N e o aumento da concentração de DDT. Este gráfico também indica uma forte correlação negativa entre o teor de lipídeos e a razão isotópica de carbono (-0,72), sugerindo que quanto maior o teor de lipídeos, menor será a razão isotópica de carbono.

Para a espécie de tartarugas-cabeçudas (Figura B.38), há uma relação linear positiva entre os poluentes HCH e Clordana (correlação de 0,7) e PCB e DDT (correlação de 0,61). Ademais, encontra-se uma correlação positiva de 0,56 entre Clordana e porcentagem de carbono orgânico, e uma correlação de 0,54 entre PCB e razão isotópica de nitrogênio.

Quanto às tartarugas-olivas (Figura B.39), há uma forte relação linear entre os poluentes Clordana e Mirex (correlação igual a 0,96), HCH e DDT (correlação igual

a 0,92), PBDE e Mirex (correlação igual a 0,91), Clordana e PBDE (correlação igual a 0,9), HCH e PCB (correlação igual a 0,66), PCB e PBDE (correlação de 0,64), além da Clordana e PCB (correlação igual a 0,6). Outrossim, existem correlações fortes entre o teor de lipídeos e alguns poluentes como, PBDE (correlação de 0,7), Clordana (correlação de 0,51) e PCB (correlação de 0,5). Vale ressaltar que nesta matriz de correlação está incluído o ponto de alavanca mencionado anteriormente. Desta forma, na Figura B.40, a matriz de correlação para as tartarugas-olivas foi refeita removendo-se esse ponto de alavanca.

A Figura B.40 apresenta aumento de todas as relações lineares entre os poluentes descritos na Figura B.39, alcançando os valores de correlação de 0,96 entre PBDE e Mirex, 0,95 entre os poluentes HCH e DDT, e correlação de 0,88 entre os poluentes Clordana e PBDE. Anteriormente, na Figura B.39, haviam fortes indícios da correlação entre o teor de lipídeos e os poluentes, no entanto, sem o ponto de alavanca observa-se que estas correlações são fracas, variando a correlação do poluente PBDE de 0,7 para -0,2, do poluente Clordana de 0,51 para -0,16 e do poluente PCB de 0,5 para 0,1. Além disso, nota-se aumento da relação linear entre a razão isotópica de carbono e alguns poluentes, alcançando a correlação de 0,55 para o poluente PCB e a correlação de 0,64 para o poluente PBDE.

Nos próximos gráficos, o interesse se concentra no estudo das medidas repetidas realizadas nas tartarugas-verdes. Para as variáveis de isótopos estáveis (Figura B.41), as porcentagens de carbono orgânico e nitrogênio total apresentam características semelhantes, há uma queda dessas quantidades, para três dos quatro indivíduos, na segunda coleta. Na terceira coleta, somente para o indivíduo 6, há um crescimento nas porcentagens destas variáveis. Já para as razões isotópicas de carbono e nitrogênio os valores aparecem constantes em todas as coletas.

Para as variáveis respostas (Figura B.42), há uma queda de concentração dos poluentes em todos os indivíduos, exceto para aqueles que na primeira coleta apresentam quantidade igual ao limite de quantificação.

7. Análise inferencial

Modelos estatísticos são utilizados para analisar a relação entre uma variável

resposta (variável de interesse) e covariáveis (variáveis explicativas). Nesta análise adotaram-se dois modelos, a saber, o modelo gama (Seção 7.1) e o modelo gama com excesso de zeros (Seção 7.2). Esses modelos, que são uma extensão dos modelos de regressão simples, possibilitam supor outras distribuições para os erros e relacionar a média da variável resposta com a combinação das variáveis explicativas. Para mais detalhes, consulte as Seções 7.1 e 7.2.

Nesta análise, as variáveis explicativas descritas anteriormente serão relacionadas aos sete poluentes (variáveis respostas). Portanto, consideram-se sete modelos de regressão os quais serão tratados de maneira independente para cada variável resposta, isto é, modelos univariados foram considerados em vez de um único modelo multivariado.

Além disso, foi retirada desta análise a tartaruga-oliva (LO6) que apresentou um teor de lipídios acima de 1,5%, pois além desse valor ser um valor influente nas análises, a tartaruga pode ter particularidades específicas que a destacam das outras de mesma espécie. A deleção do ponto de influência é uma técnica utilizada para avaliar o impacto da retirada de uma observação particular nas estimativas da regressão (Paula, 2004). Como a observação LO6 alterava significativamente os resultados inferenciais, optamos por ajustar os modelos de regressão sem a presença desse ponto.

7.1. Modelo linear generalizado (MLG)

Como as variáveis respostas são positivas e apresentam distribuições assimétricas, podem-se utilizar distribuições conhecidas tais como gama, normal-inversa, log-normal, entre outras (Paula, 2004). Para os poluentes que não apresentam observações abaixo do limite de quantificação, o modelo gama foi ajustado.

Para iniciar o ajuste do modelo, assume-se que a variável resposta segue uma distribuição gama. Deste modo, utiliza-se o modelo de regressão gama e a função de ligação logarítmica que relaciona a média da variável resposta à combinação linear das variáveis explicativas.

Para obter um modelo com variáveis que melhor explicam a variável resposta, utilizam-se critérios de seleção que determinam um subconjunto de variáveis relevantes. Neste trabalho, a seleção do modelo foi feita através de três tipos métodos:

- *Backward*,
- *Forward*,
- *Akaike*.

No método *forward*, inicia-se o modelo apenas com o intercepto, deste modo, considera-se um modelo sem variáveis, logo é adicionada uma variável de cada vez. A primeira variável selecionada é aquela com maior correlação com a resposta, depois, testa-se se ela é realmente significativa para o modelo. Se a variável for significativa ela entra no modelo, e procura-se a segunda variável com maior correlação com a resposta. O procedimento é repetido adicionando variáveis significativas no modelo. O método *backward* é iniciado com o modelo completo, isto é, com todas as variáveis de interesse incluídas no modelo e por etapas, cada variável é testada, podendo ser ou não eliminada. Assim, se não significativa, uma variável de cada vez é retirada, até que um modelo final que inclua somente variáveis significativas seja obtido. Já o método *Akaike* seleciona o modelo através do menor AIC. A estimativa do AIC para um determinado modelo é dada por: $AIC = -L + p$, em que L é o logaritmo da função de verossimilhança do modelo com os parâmetros e p é o número de parâmetros. O modelo com menor valor AIC é considerado o modelo de melhor ajuste. Para mais detalhes, consulte Paula (2004).

Para ajustar o modelo, foram consideradas todas as variáveis explicativas contínuas, salvo a variável espécie que é categórica em três tipos de espécies: tartaruga-verde, tartaruga-cabeçuda e tartaruga-oliva. Além disso, a parametrização utilizada é a de casela de referência, considerando como categoria de referência a tartaruga-verde. A interpretação dos parâmetros do modelo com resposta gama e ligação logarítmica é feita através da exponencial das estimativas dos parâmetros.

Para cada poluente, foi avaliado um modelo por meio de métodos de seleção de variáveis discutidos anteriormente. Ao ajustar o modelo gama para os sete

poluentes, observou-se que apenas o PCB apresentou resultado apropriado para a regressão. Esse resultado está em consonância com o esperado, pois PCB é o único poluente que apresenta valores maiores que o limite de quantificação.

Para esse modelo, considera-se o nível de significância de 5%. Deste modo, após os testes realizados utilizando o método de seleção, as variáveis: porcentagem de carbono orgânico, porcentagem de nitrogênio total, razão isotópica de carbono e lipídeos não foram significativas para o modelo, ou seja, os valores-p dessas variáveis foram maiores que o nível de significância adotado.

Portanto, o modelo final ajustado para PCB incluiu apenas as variáveis tipo (espécie) e razão isotópica de nitrogênio. O resultado do modelo é apresentado na Tabela A.8, que contém as estimativas com os respectivos erros-padrão dos parâmetros da média e os valores-p. Para entender a interpretação do modelo, pode-se escrever da seguinte forma:

$$\log(\mu) = -1,957 + 1,255 \times (\text{Cabeçuda}) + 6,554 \times (\text{Oliva}) + 0,102 \times (\text{RazãoN}).$$

Aplicando a transformação exponencial:

$$\mu = e^{-1,957 + 1,255 \times (\text{Cabeçuda}) + 6,554 \times (\text{Oliva}) + 0,102 \times (\text{RazãoN})}.$$

A espécie é uma variável categórica, então as médias das espécies são calculadas da seguinte forma:

- Média de contaminação para a tartaruga-verde: (com as espécies cabeçuda e oliva iguais a zero)

$$\mu = e^{-1,957 + 0,102 \times (\text{RazãoN})}.$$

- Média de contaminação para a tartaruga-cabeçuda: (com a espécie oliva igual a zero e a espécie cabeçuda igual a 1)

$$\mu = e^{-1,957 + 0,102 \times (\text{RazãoN})}.$$

- Média de contaminação para a tartaruga-oliva: (com a espécie cabeçuda igual a zero e a espécie oliva igual a 1).

$$\mu = e^{-1,957 + 0,655 + 0,102 \times (\text{RazãoN})}.$$

Considera-se a média de contaminação do poluente PCB para as tartarugas-verde como referência. Ao considerar a razão dos modelos e a espécie verde como referência, pode-se observar os seguinte modelos:

- Razão entre as médias de contaminação da tartaruga-cabeçuda (μ_2) e tartaruga-verde (μ_1): (com a espécie oliva igual a zero).

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{e^{-1,957 + 1,255 \times (\text{Cabeçuda}) + 0,102 \times (\text{Razão}N)}}{e^{-1,957 + 0,102 \times (\text{Razão}N)}} .$$

Resulta em:

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = e^{1,255} = 3,508 .$$

- Razão entre as médias de contaminação da tartaruga-oliva (μ_3) e tartaruga-verde (μ_1): (considero a espécie cabeçuda igual a zero).

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{e^{-1,957 + 0,655 \times (\text{Oliva}) + 0,102 \times (\text{Razão}N)}}{e^{-1,957 + 0,102 \times (\text{Razão}N)}} .$$

Resulta em:

$$\frac{\mu_3}{\mu_1} = e^{0,655} = 1,926 .$$

Logo, a interpretação para a variável espécie fica da seguinte forma: a média de contaminação de poluente PCB na tartaruga-cabeçuda é 251% maior que a média das verdes. Para as olivas, a média de contaminação é 92% (1,926) maior que a média das verdes. Para a razão isotópica de nitrogênio, ao calcular a exponencial da estimativa (0,102), o resultado é igual a 1,107. Desta forma, com o aumento de uma

unidade da razão isotópica de nitrogênio, leva um aumento de 11% de concentração do poluente.

Para verificar a adequabilidade deste ajuste, utilizam-se gráficos de resíduos para avaliar a existência de algum problema, como por exemplo, a presença de observações influentes, a violação da suposição da distribuição para a variável resposta, ou ainda outro problema que pode ter prejudicado o ajuste do modelo.

Na Figura B.43, o gráfico normal de probabilidade para o modelo com resposta gama, conhecido como gráfico envelope, permite uma melhor comparação entre os resíduos e os percentis da distribuição normal padrão. Esse gráfico é utilizado para avaliar a adequação da distribuição proposta para a variável resposta. Pode-se observar que o gráfico não apresenta observações aberrantes nem indícios de afastamento da distribuição assumida. Portanto, a distribuição gama pode ser utilizada para modelar o poluente PCB.

Verificam-se na Figura B.44 alguns métodos de diagnósticos mais conhecidos de modelos lineares generalizados (resíduo componente do desvio, distância de cook e pontos de alavanca). O gráfico da distância de Cook e o gráfico do ponto de alavanca são utilizadas no diagnóstico para detectar observações influentes, em outras palavras, pontos que apresentam um peso desproporcional nas estimativas dos parâmetros do modelo. Nos gráficos (a) e (b), é possível encontrar três pontos considerados influentes. Retirando as observações mais influentes, #13, #24 e #60, há variação em algumas estimativas, porém, não ocorre mudanças inferenciais. Esses pontos causam variações na estimativa, uma diminuição de 88% na média das tartarugas cabeçuda, uma queda de 11% na média das tartarugas olivas e uma pequena queda de 1% na razão isotópica de nitrogênio. A observação #13 é uma tartaruga-verde (CM13) com contaminação de poluente PCB igual a 0,951, a observação #24 é uma tartaruga-verde (CM24) com contaminação igual a 0,809, já a observação #60 é uma tartaruga-oliva (LO1) com contaminação igual a 3,083. O gráfico de resíduos *versus* valor ajustado mostra se há indícios de heterocedasticidade, ou seja, se há variâncias não constantes para todas as observações. No gráfico (c), nota-se que não existe grandes evidências de valores atípicos que estejam destoando do comportamento geral dos dados. O gráfico (d) verifica a adequação da função de ligação, se existir uma tendência linear indica

adequação da função. Logo a função de ligação log é válida para o modelo ajustado.

Assim, pela análise de resíduos, pode-se afirmar que o modelo com resposta PCB está bem ajustado e com as suposições válidas.

7.2. Modelos gama inflacionados no zero

Modelos para dados assimétricos, usualmente, não admitem a ocorrência de valores nulos com probabilidade positiva. Desse modo, os resultados obtidos a partir dos modelos MLG para os poluentes HCH, Clordana, DDT, PBDE, HCB e Mirex não podem ser utilizados para modelar, dado que esses poluentes possuem diversos valores abaixo do limite de quantificação (LQ), ou seja, valores que podem ser considerados zero.

Assim, utiliza-se o modelo gama inflacionados no zero para esses casos. Esses modelos são usados quando a variável resposta é discreta em zero e contínua em algum intervalo de números reais positivos (Rodrigues, 2016). Desta forma, para a construção desses modelos, os valores menores que LQ serão considerados como valores nulos e a variável resposta assumirá uma distribuição gama inflacionada no zero (*zero adjusted gamma, ZAGA*).

A distribuição gama inflacionado no zero (ZAGA) é uma extensão da distribuição gama, que permite a ocorrência do valor zero com probabilidade positiva, e possui três parâmetros: μ , a média da distribuição gama; σ , o parâmetro de escala ou parâmetro de dispersão; α , a probabilidade de ocorrer o valor zero.

O modelo de regressão com resposta gama inflacionado no zero pertence a uma família mais ampla de modelos de regressão, conhecida como modelos aditivos generalizados para locação, escala e forma (GAMLSS - *generalized additive models location, scale and shape*). Para esses modelos, são definidas funções de ligação para os três parâmetros da distribuição, sendo assim, este trabalho utiliza a função logarítmica para a média μ e para o parâmetro de escala σ , e a função logito para a probabilidade α de ocorrer o valor zero. Por meio dessas funções de ligação, serão mantidas as mesmas interpretações anteriores acerca do parâmetro de localização.

Para a seleção das variáveis explicativas desse modelo, utilizam-se a mesmas

técnicas de seleção descritas na seção anterior: *Backward*, *Forward* e *Akaike*. A parametrização utilizada é a de casela de referência, considerando a tartaruga-verde como referência. Desse modo, as interpretações feitas na seção anterior se mantêm válidas para este modelo mais complexo.

Após a aplicação das técnicas de seleção de variáveis e fixando um nível de significância de 15%, o modelo de regressão ZAGA para o poluente HCH (Tabela A.9) apresentou somente as variáveis tipo (espécie), porcentagem de carbono orgânico (%C) e a interação entre ambas como significativas, ou seja, apenas para essas variáveis os valores-p são menores que 15% e, conseqüentemente, as demais variáveis são excluídas do modelo final. Desta forma, o modelo final ajustado para a média possui as variáveis tipo (espécie) e porcentagem de carbono orgânico (%C), sendo que, para a média, consideram-se apenas as observações com probabilidade positiva (maiores que o limite de quantificação). Já para os parâmetros σ e α , foram estimadas constantes que representam a dispersão e a probabilidade do valor zero, respectivamente.

Sendo assim, o modelo GAMLSS com o modelo ZAGA ajustado, para o poluente HCH, é dado por:

$$\log(\mu) = -6,769 - 1,117 \times (\text{Cabeçuda}) + 23,135 \times (\text{Oliva}) + 0,066 \times (\%C) + \\ + 0,039 \times (\text{Cabeçuda}) \times (\%C) - 0,438 \times (\text{Oliva}) \times (\%C),$$

$$\log(\sigma) = -0,461,$$

$$\text{logit}(\alpha) = -0,854.$$

Isolando os parâmetros μ , σ e α nas equações acima, tem-se que:

$$\mu = e^{-6,769 - 1,117 \times (\text{Cabeçuda}) + 23,135 \times (\text{Oliva}) + 0,066 \times (\%C) + 0,039 \times (\text{Cabeçuda}) \times (\%C) - 0,438 \times (\text{Oliva}) \times (\%C)},$$

$$\sigma = e^{(-0,461)} = 0,631,$$

$$\alpha = \frac{e^{(-0,854)}}{1 + e^{(-0,854)}} = 0,299.$$

A espécie é uma variável categórica, então as médias das espécies são

calculadas da seguinte forma:

- Média de contaminação para a tartaruga-verde: (com as espécies cabeçuda e oliva iguais a zero)

$$\mu = e^{-6,769 + 0,066 \times (\%C)} .$$

- Média de contaminação para a tartaruga-cabeçuda: (com a espécie oliva igual a zero e a espécie cabeçuda igual a 1)

$$\mu = e^{-6,769 - 1,117 \times (\text{Cabeçuda}) + 0,066 \times (\%C) + 0,039 \times (\text{Cabeçuda}) \times (\%C)} .$$

- Média de contaminação para a tartaruga-oliva: (com a espécie cabeçuda igual a zero e a espécie oliva igual a 1).

$$\mu = e^{-6,769 + 23,135 \times (\text{Oliva}) + 0,066 \times (\%C) - 0,438 \times (\text{Oliva}) \times (\%C)} .$$

Considera-se a média de contaminação do poluente HCH para as tartarugas-verde como referência. Desta forma, a razão dos modelos, tendo a espécie verde como referência, pode ser observada a seguir:

- Razão entre as médias de contaminação da tartaruga-cabeçuda (μ_2) e tartaruga-verde (μ_1): (com a espécie oliva igual a zero).

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{e^{-6,769 - 1,117 \times (\text{Cabeçuda}) + 0,066 \times (\%C) + 0,039 \times (\text{Cabeçuda}) \times (\%C)}}{e^{-6,769 + 0,066 \times (\%C)}} .$$

Resulta em:

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = e^{-1,117 + 0,039 \times (\%C)} .$$

- Razão entre as médias de contaminação da tartaruga-oliva (μ_3) e tartaruga-verde (μ_1): (considero a espécie cabeçuda igual a zero).

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{e^{-6,769 + 23,135 \times (Oliva) + 0,066 \times (\%C) - 0,438 \times (Oliva) \times (\%C)}}{e^{-6,769 + 0,066 \times (\%C)}} .$$

Resulta em:

$$\frac{\mu_3}{\mu_1} = e^{23,135 - 0,438 \times (\%C)} .$$

As equações para μ , descritas acima, consideram a porcentagem de carbono orgânico (%C) como uma variável constante. Desta forma, a razão das médias, tendo em vista o aumento de uma unidade nessa variável, pode ser observada abaixo:

- Razão entre as médias de contaminação por HCH, considerando o aumento em uma unidade da porcentagem de carbono orgânico e mantendo a razão isotópica de carbono fixa:

$$\frac{\mu_{(\%C+1)}}{\mu_{(\%C)}} = \frac{e^{-6,769 - 1,117 \times (Cabeçuda) + 23,135 \times (Oliva) + 0,066 \times (\%C+1) + 0,039 \times (Cabeçuda) \times (\%C+1) - 0,438 \times (Oliva) \times (\%C+1)}}{e^{-6,769 - 1,117 \times (Cabeçuda) + 23,135 \times (Oliva) + 0,066 \times (\%C) + 0,039 \times (Cabeçuda) \times (\%C) - 0,438 \times (Oliva) \times (\%C)}} .$$

Resultando em:

$$\frac{\mu_{(\%C+1)}}{\mu_{(\%C)}} = e^{0,066 + 0,039 \times (Cabeçuda) - 0,438 \times (Oliva)} .$$

Assim, para a tartaruga-cabeçuda, tem-se que: (espécie oliva igual a zero)

$$\frac{\mu_{(\%C+1)}}{\mu_{(\%C)}} = e^{0,066 + 0,039} = e^{0,105} = 1,111 .$$

Considerando as tartarugas-olivas, tem-se que: (espécie cabeçuda igual a zero)

$$\frac{\mu_{(\%C+1)}}{\mu_{(\%C)}} = e^{0,066 - 0,438} = e^{-0,372} = 0,689 .$$

A interpretação para este modelo fica da seguinte forma: ao considerar a porcentagem de carbono orgânico média (fixada em 52,3%), a média de contaminação do poluente HCH na tartaruga-oliva é 1,26 vezes a média das verdes (25,6% maior), sendo que essa contaminação diminui conforme o aumento da porcentagem de carbono orgânico. Além disso, espera-se que, para cada aumento em uma unidade do valor da porcentagem de carbono, há uma redução de 31,1% na concentração média do poluente nas tartarugas olivas, considerando apenas os valores acima do limite de quantificação.

Com relação aos parâmetros de dispersão (σ) e a probabilidade de ocorrer zero (α), foram ajustadas constantes, não sendo influenciados pelas covariáveis, ou seja, para quaisquer que sejam as características das tartarugas em relação ao poluente HCH, o valor de σ será sempre equivalente a 0,631 e o valor de α igual a 0,299, indicando que a probabilidade de observar um valor abaixo do limite é de 29,9%.

As conclusões dadas acima são válidas apenas se o ajuste do modelo for satisfatório. Assim, é necessário realizar análises de diagnósticos para o modelo ajustado. Na Figura B.45, observa-se que no gráfico de resíduos *versus* valores ajustados do parâmetro μ (*Against Fitted Values*) os pontos se distribuem aleatoriamente em torno dos resíduos nulos, o que mostra uma boa adequação. No gráfico de resíduos *versus* indexação da ordem das observações (*Against index*), nota-se uma nuvem de pontos aleatória, sendo um resultado desejável que confirma a homocedasticidade dos resíduos. No gráfico da estimação da densidade dos resíduos (*Density Estimate*), percebe-se um formato semelhante a um sino que mostra que os resíduos são normalmente distribuídos. Esse diagnóstico é reafirmado a partir do gráfico normal Q-Q dos resíduos (*Normal Q-Q Plot*), em que os pontos estão distribuídos como uma diagonal, com poucos pontos fora dela na parte superior e inferior da distribuição.

Na Figura B.46 está representado o gráfico de minhoca (*worm plot*) do modelo GAMLSS ajustado, onde verifica-se que todos os pontos estão plotados dentro da banda de confiança, indicando uma boa qualidade de ajuste.

A estrutura do modelo e a interpretação de razões das médias utilizadas no poluente HCH será a mesma para os poluentes Clordana, DDT, PBDE, HCB e Mirex.

Ressalta-se que as covariáveis utilizadas nos modelos que serão vistos a seguir diferem para cada poluente, pois depende da covariável ser ou não significativa.

No modelo de regressão ZAGA final ajustado para o poluente Clordana (Tabela A.10), somente as variáveis tipo (espécie), porcentagem de nitrogênio total (%N), lipídeos e a interação entre espécies e porcentagem de nitrogênio são significativas para a média, considerando um nível de significância de 15%. O modelo final possui, também, as constantes que representam sigma e a probabilidade do valor zero. Para a variável espécie, a referência considerada é a tartaruga-verde, cuja a parametrização e a explicação das interpretações das razões das médias foram exemplificadas na seção anterior. A partir dessa referência e dos cálculos das razões, tem-se que a média de contaminação do poluente Clordana na tartaruga-cabeçuda é 2,8 vezes a média para as tartarugas verdes (181% maior), considerando a %N fixada em 14,7% (média para as tartarugas-cabeçudas). Já para as olivas, a média de contaminação é 1,64 vezes a média das verdes (63,3% maior).

Considerando agora a variável porcentagem de nitrogênio total (% N), observa-se que a concentração média do poluente Clordana, para as observações não nulas, aumenta 70,4% a cada unidade de aumento na %N, para as tartarugas-cabeçudas. Já para as olivas, há um aumento de 42,8% na contaminação média. Por fim, para a variável lipídeo, tem-se que, um aumento de uma unidade na variável lipídeo ocasiona uma diminuição de 99,3% na concentração média do poluente Clordana.

Os parâmetros σ e α foram estimados sem estrutura de regressão, não sendo influenciados pelas covariáveis. Sendo assim, para quaisquer características das tartarugas em relação ao poluente Clordana, o valor de σ será sempre equivalente à 0,453 e o valor de α igual à 0,584, indicando que a probabilidade de observar um valor abaixo do limite é de 58,4%.

A avaliação da adequabilidade do ajuste deste modelo é vista por meio das Figuras B.47 e B.48. Na Figura B.47, o gráfico de resíduos *versus* valores ajustados do parâmetro μ apresenta pontos distribuídos em torno dos resíduos nulos e possui um maior número de pontos em contagens baixas pela própria natureza da distribuição, com inflação em zeros. No gráfico de resíduos *versus* indexação da ordem das observações há aleatoriedade na distribuição dos dados, confirmando a

homocedasticidade dos resíduos. Já no gráfico da estimação da densidade dos resíduos, nota-se uma aproximação com o formato de sino, que representa a normalidade dos resíduos. Além disso, no gráfico normal Q-Q dos resíduos, os pontos estão distribuídos numa reta, com poucos pontos fora dela na parte superior e inferior da distribuição.

Na Figura B.48, o gráfico de minhoca mostra que todos os pontos encontram-se dentro da banda de confiança, indicando uma boa qualidade de ajuste do modelo.

Para o poluente DDT (Tabela A.11), o modelo ZAGA final ajustado possui somente as variáveis tipo (espécie) e razão isotópica de nitrogênio, como covariáveis para a média (que analisa apenas os valores maiores que LQ), além de constantes para σ e α , que representam a dispersão e a probabilidade de observar valores menores do que LQ, respectivamente. As variáveis que não entraram no modelo final apresentaram valores-p maiores que o nível de significância adotado (15%), por consequência, foram descartadas do modelo final por não serem significativas. Assim, para a variável espécie, a contaminação média pelo poluente DDT na tartaruga-cabeçuda é 11,45 vezes a contaminação média nas tartarugas verdes. Já para as olivas, a contaminação média é 3,24 vezes a média nas verdes (224% maior). Posteriormente, considerando a variável razão isotópica de nitrogênio, estima-se que a concentração média do poluente DDT aumente 14,5% a cada aumento em uma unidade da razão de nitrogênio.

Como os parâmetros σ e α foram estimados sem estrutura de regressão, tem-se que, independentemente das características das tartarugas em relação ao poluente DDT, o valor de σ sempre corresponderá à 0,760 e o valor de α à 0,299, indicando que a probabilidade de observar um valor abaixo do limite é de 29,9%.

Conforme mencionado anteriormente, deve-se realizar uma análise de diagnóstico para verificar o ajuste do modelo proposto. Desta forma, na Figura B.49 o gráfico superior à esquerda apresenta pontos distribuídos em torno dos resíduos nulos e uma concentração maior de pontos em contagens baixas, por conta da distribuição inflacionada em zeros (gráfico de resíduos *versus* valores ajustados), além disso no gráfico superior à direita há a satisfação da suposição de homocedasticidade dos resíduos (resíduos *versus* indexação da ordem). Já no gráfico da estimação da densidade dos resíduos (gráfico inferior à esquerda), nota-

se uma distribuição em formato de sino, garantindo a normalidade dos resíduos. Essa suposição também pode ser vista no gráfico normal Q-Q dos resíduos, em que os pontos estão distribuídos numa diagonal, com poucos pontos fora dela na parte superior e inferior da distribuição. Na Figura B.50, todos os pontos encontram-se dentro da banda de confiança, indicando que o modelo está bem ajustado.

Do mesmo modo, para o poluente PBDE (Tabela A.12), o modelo final inclui apenas as variáveis significativas com o nível de significância fixado de 15%. As variáveis incluídas no modelo foram: tipo (espécie), porcentagem de carbono orgânico (%C) e razão isotópica de nitrogênio como covariáveis para a média (representando as observações positivas), além de serem estimados sem estrutura de regressão para σ e α , que representam a dispersão e a probabilidade de observar valores menores do que LQ, respectivamente. Para a variável espécie, a contaminação média pelo poluente PBDE na tartaruga-oliva é 45,52 vezes a contaminação média nas tartarugas verdes. Considerando a variável porcentagem de carbono orgânico (%C), observa-se que a concentração média do poluente PBDE aumenta 30,8% para cada aumento em uma unidade da %C. Por fim, para a variável razão isotópica de nitrogênio, estima-se que o aumento em uma unidade da razão de nitrogênio gere uma redução de 18,2% na contração média do poluente PBDE.

Em relação aos parâmetros σ e α , tem-se que, para quaisquer características das tartarugas considerando o poluente PBDE, o valor de σ será igual à 0,597 e o valor de α corresponderá sempre à 0,87, isto é, a probabilidade de observar um valor abaixo do limite é de 87%.

A Figura B.51, apresenta quatro gráficos com a análise de resíduos do modelo ajustado para o poluente PBDE. O gráfico de resíduos *versus* valores ajustados (superior à esquerda) apresenta uma grande concentração de pontos próximos ao zero, por conta da natureza da distribuição inflacionada no zero. O gráfico de resíduos *versus* indexação da ordem (superior à direita) verifica a suposição de homocedasticidade dos resíduos, dado que os pontos estão distribuídos aleatoriamente. Já no gráfico da estimação da densidade dos resíduos (gráfico inferior à esquerda), observa-se que a distribuição segue um formato de sino com distribuição bimodal, isto é, apresenta duas modas diferentes, logo, pode-se garantir a normalidade dos resíduos. A partir do gráfico normal Q-Q dos resíduos, verifica-se

que os pontos estão plotados numa diagonal, com poucos pontos fora dela.

Na Figura B.52, todos os pontos encontram-se dentro da banda de confiança, reforçando a adequabilidade do modelo final ajustado.

Mediante a seleção de variáveis, a Tabela A.13 apresenta as estimativas das variáveis significativas a 15% para o modelo de regressão ZAGA, considerando o poluente HCB. Esse modelo possui as variáveis explicativas tipo (espécie), porcentagem de carbono orgânico (%C), porcentagem de nitrogênio total (%N), razão isotópica de nitrogênio, lipídeos e a interação entre espécie e porcentagem de carbono selecionadas para a média, além das constantes que representam sigma e a probabilidade do valor zero. Para a variável espécie, a média de contaminação do poluente HCB na tartaruga-cabeçuda é 3,31 vezes a média para as tartarugas verdes (231,2% maior), considerando que a %C média para as tartarugas-cabeçudas é fixada em 48,8%. Além disso, tem-se que um aumento em uma unidade na variável porcentagem de carbono orgânico gera uma redução de 10,9% na concentração média do poluente HCB. Considerando agora a variável porcentagem de nitrogênio total (%N), observa-se que a concentração média do poluente HCB aumenta 24,4% a cada unidade de aumento em %N. Do mesmo modo, a cada unidade de aumento na razão isotópica de nitrogênio, a concentração média de HCB aumenta em 4,5%. Por fim, para a variável lipídeo, tem-se que, um aumento de uma unidade na variável lipídeo ocasiona uma diminuição de 66,5% na concentração média do poluente HCB.

Em relação aos demais parâmetros do modelo, observa-se que o valor de σ será sempre equivalente à 0,063 e o valor de α igual a 0,883, dado que foram estimados sem estrutura de regressão. O valor de α indica que a probabilidade de observar um valor abaixo do limite de quantificação é de 88,3%.

A adequabilidade do ajuste deste modelo é avaliada por meio das Figuras B.53 e B.54. Na Figura B.53, o gráfico de resíduos *versus* valores ajustados mostra pontos distribuídos em torno dos resíduos nulos e possui um maior número de pontos em contagens baixas pela própria natureza da distribuição, com inflação em zeros. O gráfico de resíduos *versus* indexação da ordem das observações confirma a homocedasticidade dos resíduos. Já o gráfico da estimação da densidade dos resíduos e o gráfico normal Q-Q garantem a normalidade dos resíduos. Na Figura B.54, o gráfico de minhoca mostra que todos os pontos encontram-se dentro da

banda de confiança, indicando uma boa qualidade de ajuste do modelo.

O último modelo ajustado foi para o poluente Mirex, apresentado na Tabela A.14. Com o nível de significância adotado de 15%, o modelo final ajustado possui as seguintes variáveis significativas: porcentagem de carbono orgânico (%C), porcentagem de nitrogênio total (%N) e razão isotópica de nitrogênio para a média, sendo que a média está condicionada aos valores acima do limite de quantificação; além de constantes que representam a dispersão e a probabilidade do valor zero. Para a porcentagem de carbono orgânico, observa-se um aumento de 201,9% na concentração média do poluente Mirex a cada aumento em uma unidade na porcentagem de carbono orgânico. Já a variável porcentagem de nitrogênio total (%N) ocasiona uma redução de 66,6% na concentração média do poluente Mirex, a cada unidade de aumento na %N. Do mesmo modo, a cada unidade de aumento na razão isotópica de nitrogênio, a concentração média de Mirex reduz 22,1%.

Em relação aos demais parâmetros do modelo, observa-se que o valor de σ será sempre equivalente a 0,178 e o valor de α igual à 0,935, independentemente de quaisquer covariáveis. Esse valor fixado para α mostra que a probabilidade de observar um valor abaixo do limite é de 93,5% para o poluente Mirex.

As Figuras B.55 e B.56 avaliam o ajuste do modelo. A Figura B.55 apresenta 4 gráficos, sendo que o primeiro gráfico são os resíduos *versus* valores ajustados que mostra pontos distribuídos em torno dos resíduos nulos e alta concentração de pontos próximos ao valor nulo devido ao excesso de zeros. O gráfico de resíduos *versus* indexação da ordem das observações confirma a homocedasticidade dos resíduos. Já o gráfico da estimação da densidade dos resíduos e o gráfico normal Q-Q garantem a normalidade dos resíduos. O gráfico de minhoca (Figura B.56) mostra todos os pontos dentro da banda de confiança, indicando uma boa qualidade de ajuste do modelo.

8. Conclusões

Inicialmente, realizou-se uma análise descritiva que indicou alguns resultados das tabelas e gráficos. Nas análises entre POPs e razão isotópica, há diferenças entre as concentrações de poluentes encontradas nos indivíduos da mesma espécie,

considerando tanto a razão isotópica de carbono quanto a de nitrogênio. Somado-se a isso, têm-se que o PCB é o poluente que apresenta maior nível de concentração encontrado no plasma das três espécies de tartarugas. Adicionalmente, as tartarugas-cabeçudas apresentam as maiores concentrações de poluentes quando comparadas às outras. Para as recoletas da tartaruga-verde, constata-se que com o decorrer da deposição dos ninhos (2ª coleta), as concentrações de contaminantes diminuem. Outro resultado mostra que a quantidade de lipídeos aparenta influenciar as concentrações de contaminantes, apenas nas tartarugas-olivas, se considerar na análise a observação com o ponto de alavanca.

Em seguida, foi feita uma análise inferencial considerando a distribuição gama ou ZAGA para as variáveis respostas. Assim, foram obtidos os seguintes resultados: a contaminação média pelo poluente PCB para as tartarugas-cabeçudas é 251% maior do que a contaminação média para as tartarugas-verdes. O aumento de uma unidade na porcentagem de carbono orgânico gera uma redução de 31,1% na contaminação média pelo poluente HCH. Considerando o poluente Clordana, verifica-se que a contaminação média para as tartarugas-cabeçudas é 181% maior do que a contaminação média nas tartarugas-verdes. Além disso, o aumento em uma unidade na variável lipídeo, ocasiona na diminuição de 99,3% da concentração média do poluente Clordana.

Ao analisar o poluente DDT, nota-se que a concentração média deste poluente nas tartarugas-cabeçudas é 11,45 vezes a concentração encontrada nas tartarugas-verdes. Ademais, as tartarugas-olivas possuem uma concentração média de DDT 224% maior do que a das verdes.

A partir do modelo ajustado para o poluente PBDE, pode-se concluir que a contaminação média para as tartarugas-olivas é 45,52 vezes a contaminação média encontrada nas tartarugas-verdes. Além disso, o aumento de uma unidade na variável porcentagem de carbono, ocasiona no aumento de 30,8% na concentração média do poluente PBDE.

Para o poluente HCB, os resultados do modelo indicam que a contaminação média nas tartaruga-cabeçuda é 231,2% maior que a contaminação média nas tartarugas-verdes. Além disso, com um aumento em uma unidade na variável porcentagem de carbono orgânico reduz cerca de 10,9% na concentração média do

poluente. Enquanto que, para um aumento na unidade da porcentagem de nitrogênio, ocasiona um aumento 24,4% na concentração média.

Por fim, para o poluente Mirex, pode-se concluir que mantendo a porcentagem de nitrogênio total e a razão isotópica de nitrogênio fixadas, ocorre um aumento de 201,9% na concentração média do poluente. Além disso, mantendo a porcentagem de carbono orgânico e a razão isotópica de nitrogênio fixadas, ocasiona uma redução de 66,6% na concentração média. Enquanto que, a concentração média de Mirex reduz 22,1% quando a porcentagem de carbono orgânico e a porcentagem de nitrogênio total estão fixadas.

APÊNDICE A

Tabelas

Tabela A.1 Estatísticas descritivas para as variáveis de biometria, CCC (cm) e LCC (cm), por Espécie.

Variáveis	N	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo	Média	DP
Tartaruga Verde	31							
CCC	31	101,750	106,670	111,000	112,000	121,000	110,23	5,010
LCC	31	93,000	100,000	103,000	105,500	117,000	102,96	5,100
Tartaruga Cabeçuda	28							
CCC	28	88,100	97,000	100,500	102,000	105,000	99,030	4,440
LCC	28	77,600	87,900	90,900	92,380	98,800	89,750	4,720
Tartaruga Oliva	19							
CCC	19	65,000	67,450	70,900	73,250	76,300	70,380	3,690
LCC	19	63,500	68,300	70,000	71,800	76,400	69,820	2,980

Tabela A.2 Estatísticas descritivas para as variáveis de Isótopos estáveis, segundo a Espécie tartaruga-verde.

Variáveis	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	D,P,
% C org	36,176	49,466	50,758	50,045	51,889	54,233	3,389
δ¹³C/12C	-20,48	-19,534	-18,897	-18,662	-18,006	-15,779	1,276
% N Total	11,209	14,721	15,526	15,247	15,953	16,693	1,196
δ¹⁵N/14N	3,299	5,317	5,806	6,089	6,581	10,379	1,547
C/N	3,144	3,201	3,240	3,288	3,363	3,570	0,115

Tabela A.3 Estatísticas descritivas para as variáveis de Isótopos estáveis, segundo a Espécie tartaruga-cabeçuda.

Variáveis	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	D,P,
% C org	45,262	48,021	48,676	48,798	49,421	53,668	1,605
δ13C/12C	-19,406	-17,055	-16,274	-16,406	-15,228	-14,54	1,342
% N Total	11,880	12,959	13,605	13,580	13,990	15,842	1,012
δ15N/14N	4,525	5,828	7,871	7,899	8,772	15,166	2,799
C/N	3,266	3,469	3,586	3,606	3,680	4,057	0,190

Tabela A.4 Estatísticas descritivas para as variáveis de Isótopos estáveis, segundo a Espécie tartaruga-oliva.

Variáveis	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	D,P,
% C org	47,506	49,454	53,148	52,036	53,887	54,975	2,614
δ13C/12C	-19,81	-19,368	-18,863	-18,802	-18,656	-16,347	0,836
% N Total	11,990	13,428	16,241	15,250	16,469	16,743	1,761
δ15N/14N	4,832	8,375	8,942	8,930	9,453	12,046	1,514
C/N	3,249	3,269	3,284	3,440	3,683	3,962	0,259

Tabela A.5 Estatísticas descritivas para os grupos de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), segundo a Espécie tartaruga-verde.

Variáveis	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	D,P,
Σ HCH	0,005	0,010	0,018	0,026	0,032	0,107	0,025
Σ Clordana	0,005	0,005	0,005	0,008	0,01	0,022	0,005
Σ DDT	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,022	0,003
Σ PCB	0,039	0,092	0,171	0,258	0,33	0,951	0,223
Σ PBDE	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007	0,000
HCB	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,000
Mirex	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000

Tabela A.6 Estatísticas descritivas para os grupos de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), segundo a Espécie tartaruga-cabeçuda.

Variáveis	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	D,P,
Σ HCH	0,005	0,005	0,038	0,049	0,076	0,195	0,049
Σ Clordana	0,005	0,005	0,006	0,016	0,021	0,082	0,018
Σ DDT	0,007	0,044	0,102	0,113	0,136	0,396	0,092
Σ PCB	0,018	0,662	1,019	1,157	1,652	2,403	0,696
Σ PBDE	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,000
HCB	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,010	0,001
Mirex	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000

Tabela A.7 Estatísticas descritivas para os grupos de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), segundo a Espécie tartaruga-oliva.

Variáveis	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	D,P,
Σ HCH	0,005	0,005	0,013	0,026	0,032	0,14	0,033
Σ Clordana	0,005	0,005	0,005	0,019	0,019	0,099	0,027
Σ DDT	0,005	0,015	0,024	0,036	0,028	0,208	0,048
Σ PCB	0,088	0,359	0,505	0,817	0,903	3,083	0,842
Σ PBDE	0,005	0,005	0,005	0,075	0,081	0,461	0,133
HCB	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,000
Mirex	0,005	0,005	0,005	0,019	0,023	0,102	0,026

Tabela A.8 Estimativas dos parâmetros referentes ao MLG com resposta gama ajustado ao poluente PCB.

Coeficientes	Estimativa	Erro Padrão	Valor-p
Intercepto	0,141	0,314	< 0,001
Cabeçuda	3,508	0,229	< 0,001
Oliva	1,926	0,277	0,021
Razão N	1,107	0,046	0,029

Tabela A.9 Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo GAMLSS com resposta ZAGA para o poluente HCH.

Coeficientes	Estimativa	Estimativa Transformada	Erro Padrão	Valor-p
<i>Preditor de μ com ligação log</i>				
Intercepto	-6,769	0,001	1,616	<0,001
Cabeçuda	-1,117	0,327	4,912	0,821
Oliva	23,135	1,115e+10	7,034	0,002
%C	0,066	1,069	0,032	0,044
Cabeçuda:%C	0,039	1,040	0,100	0,693
Oliva:%C	-0,438	0,645	0,132	0,002
<i>Preditor de σ com ligação log</i>				
Intercepto	-0,461	0,631	0,091	<0,001
<i>Preditor de α com ligação logit</i>				
Intercepto	-0,854	0,299	0,249	0,001

Tabela A.10 Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo GAMLSS com resposta ZAGA para o poluente Clordana.

Coefficientes	Estimativa	Estimativa Transformada	Erro Padrão	Valor-p
<i>Preditor de μ com ligação log</i>				
Intercepto	0,149	1,161	1,753	0,932
Cabeçuda	-10,389	0,000	2,587	<0,001
Oliva	-8,328	0,000	2,277	<0,001
% N	-0,244	0,784	0,109	0,028
Lipídeos	-4,958	0,007	1,081	<0,001
Cabeçuda:%N	0,777	2,174	0,182	<0,001
Oliva:%N	0,600	1,822	0,152	<0,001
<i>Preditor de σ com ligação log</i>				
Intercepto	-0,792	0,453	0,121	<0,001
<i>Preditor de α com ligação logit</i>				
Intercepto	0,341	0,584	0,231	0,145

Tabela A.11 Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo GAMLSS com resposta ZAGA para o poluente DDT.

Coefficientes	Estimativa	Estimativa Transformada	Erro Padrão	Valor-p
<i>Preditor de μ com ligação log</i>				
Intercepto	-5,726	0,003	0,425	<0,001
Cabeçuda	2,438	11,452	0,292	<0,001
Oliva	1,176	3,242	0,327	<0,001
Razão N	0,135	1,145	0,047	0,005
<i>Preditor de σ com ligação log</i>				
Intercepto	-0,275	0,760	0,089	0,003
<i>Preditor de α com ligação logit</i>				
Intercepto	-0,854	0,299	0,249	0,001

Tabela A.12 Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo GAMLSS com resposta ZAGA para o poluente PBDE.

Coeficientes	Estimativa	Estimativa Transformada	Erro Padrão	Valor-p
<i>Preditor de μ com ligação log</i>				
Intercepto	-17,598	0,000	5,134	0,001
Cabeçuda	0,323	1,381	0,784	0,682
Oliva	3,818	45,522	0,654	<0,001
% C	0,269	1,308	0,108	0,015
Razão N	-0,200	0,818	0,108	0,067
<i>Preditor de σ com ligação log</i>				
Intercepto	-0,515	0,597	0,212	0,018
<i>Preditor de α com ligação logit</i>				
Intercepto	1,902	0,870	0,339	<0,001

Tabela A.13 Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo GAMLSS com resposta ZAGA para o poluente HCB.

Coefficientes	Estimativa	Estimativa Transformada	Erro Padrão	Valor-p
<i>Preditor de μ com ligação log</i>				
Intercepto	-18,572	0,000	1,245	<0,001
Cabeçuda	16,033	9.187e+06	1,285	<0,001
Oliva	4,862	129,259	8,128	0,552
% C	0,188	1,207	0,028	<0,001
% N	0,218	1,244	0,051	<0,001
Razão N	0,044	1,045	0,012	<0,001
Lipídeos	-1,093	0,335	0,224	<0,001
Cabeçuda:%C	-0,304	0,738	0,025	<0,001
Oliva:%C	-0,100	0,905	0,154	0,519
<i>Preditor de σ com ligação log</i>				
Intercepto	-2,772	0,063	0,236	<0,001
<i>Preditor de α com ligação logit</i>				
Intercepto	2,022	0,883	0,354	<0,001

Tabela A.14 Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo GAMLSS com resposta ZAGA para o poluente Mirex.

Coeficientes	Estimativa	Estimativa Transformada	Erro Padrão	Valor-p
<i>Preditor de μ com ligação log</i>				
Intercepto	-41,016	0,000	7,965	<0,001
% C	1,105	3,019	0,253	<0,001
% N	-1,098	0,334	0,302	<0,001
Razão N	-0,249	0,779	0.071	<0,001
<i>Preditor de σ com ligação log</i>				
Intercepto	-1,725	0,178	0,354	<0,001
<i>Preditor de α com ligação logit</i>				
Intercepto	2,667	0,935	0,463	<0,001

APÊNDICE B

Figuras

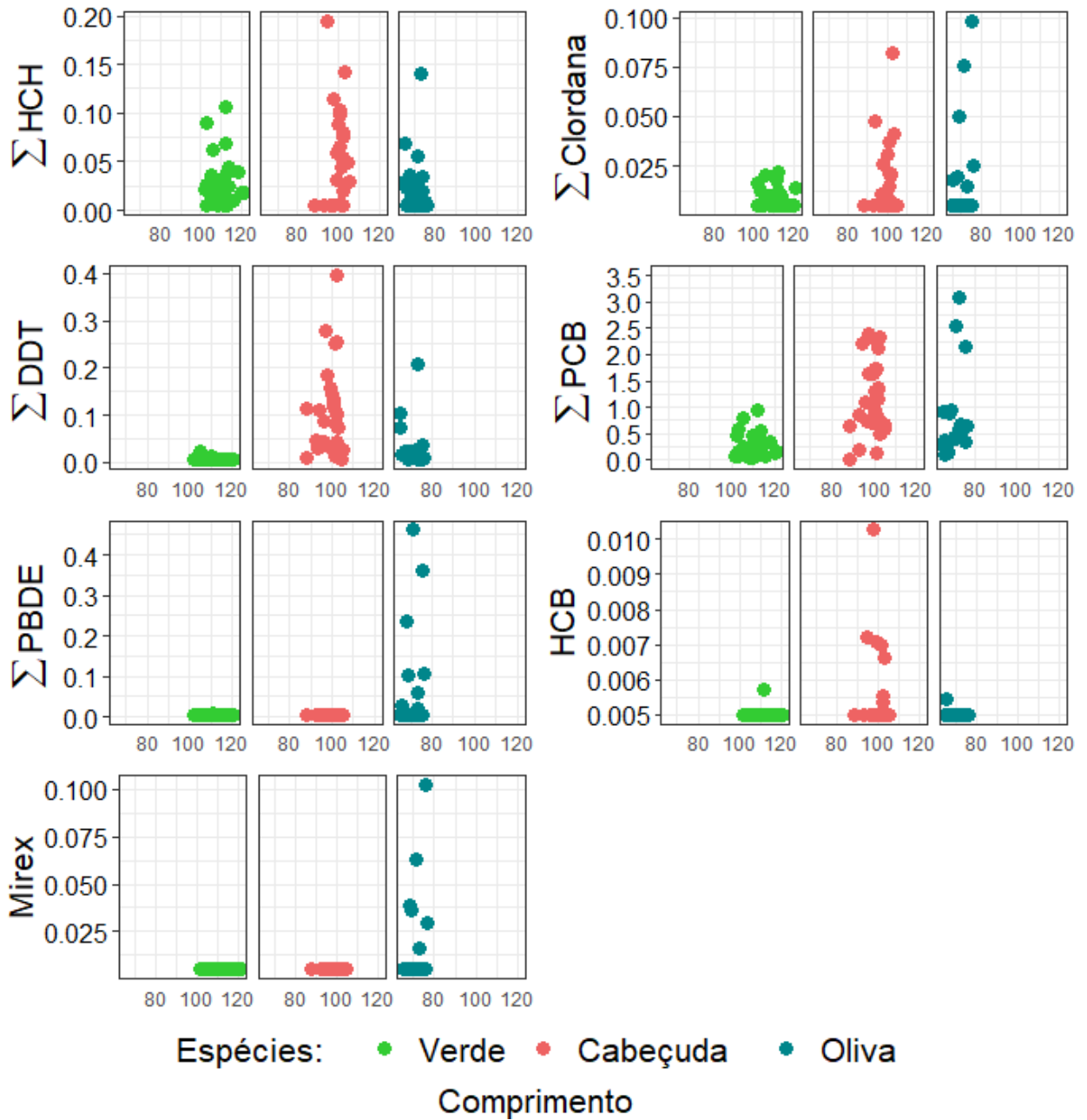


Figura B.1: Gráfico de dispersão dos 7 grupos de poluentes pelo comprimento curvilíneo do casco (CCC) para as três espécies de tartarugas-marinhas.

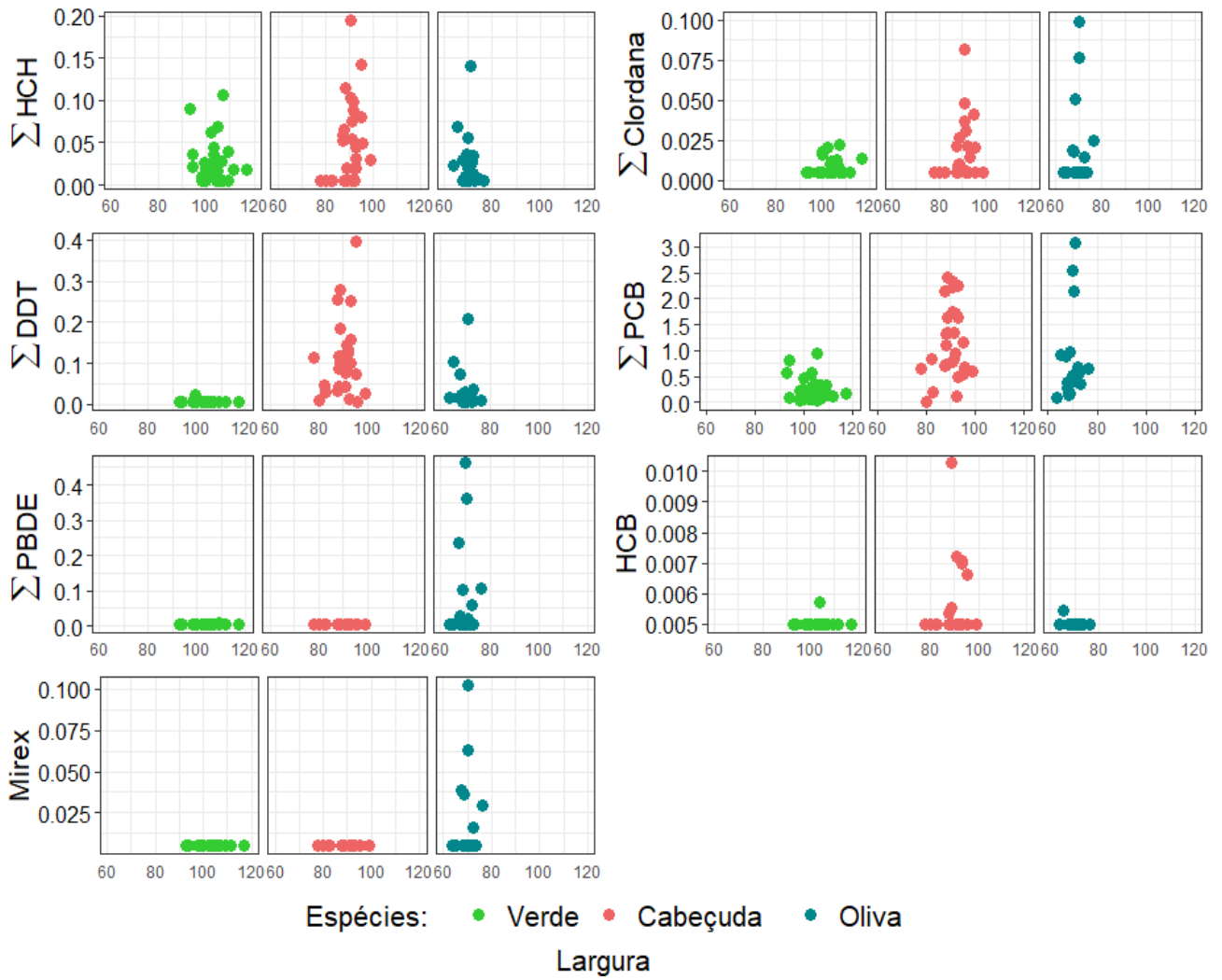


Figura B.2: Gráfico de dispersão dos 7 grupos de poluentes pela largura curvilínea do casco (LCC) para as três espécies de tartarugas-marinhas.

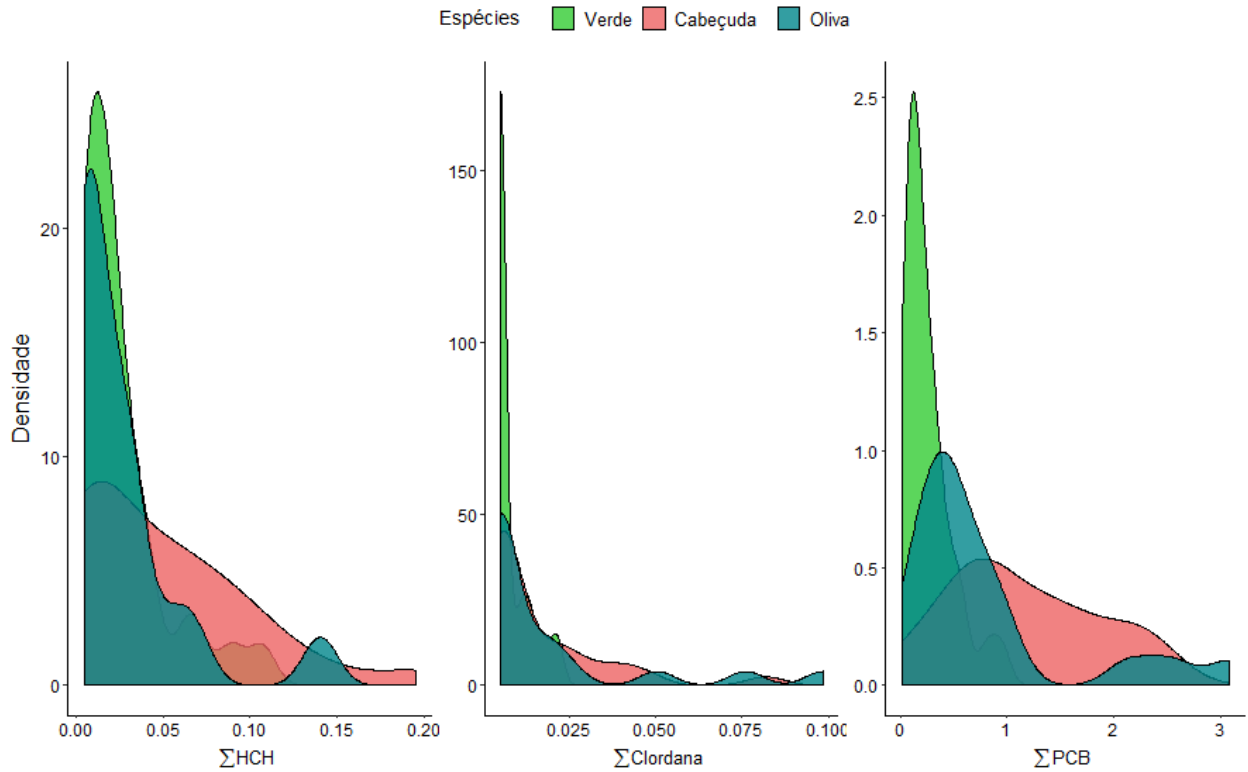


Figura B.3: Gráficos de densidade dos poluentes HCH, Clordana e PCB por Espécie de tartaruga-marinha.

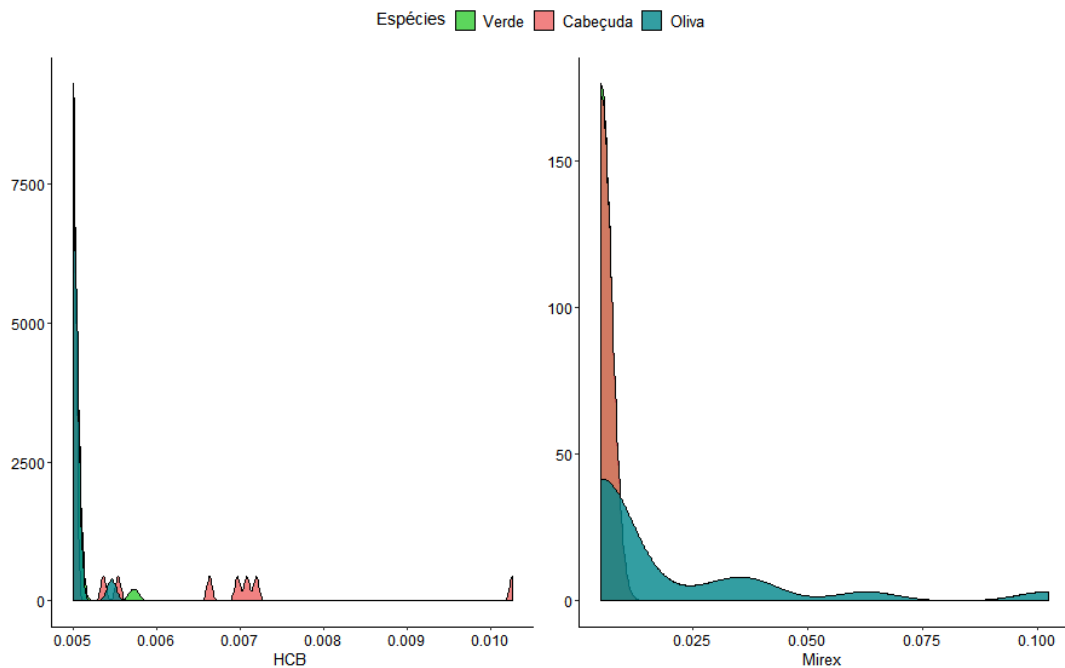


Figura B.4: Gráficos de densidade dos poluentes HCB e Mirex por Espécie de tartaruga-marinha.

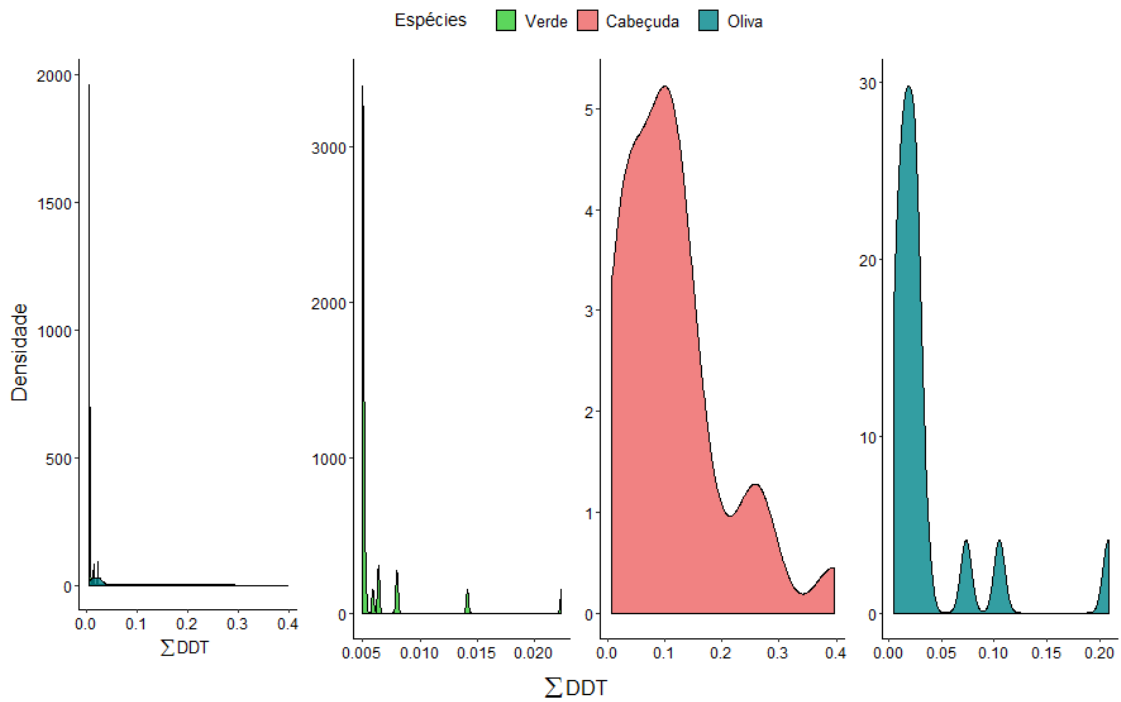


Figura B.5: Gráficos de densidade do poluente DDT para cada Espécie de tartaruga-marinha.

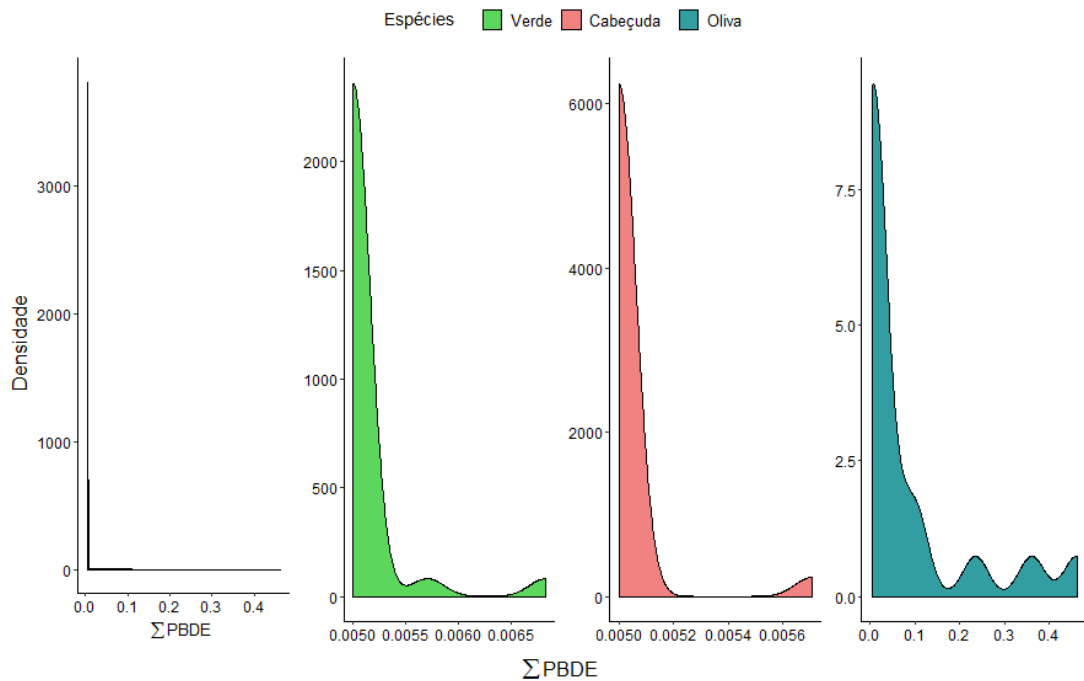


Figura B.6: Gráficos de densidade do poluente PBDE para cada Espécie de tartaruga-marinha.

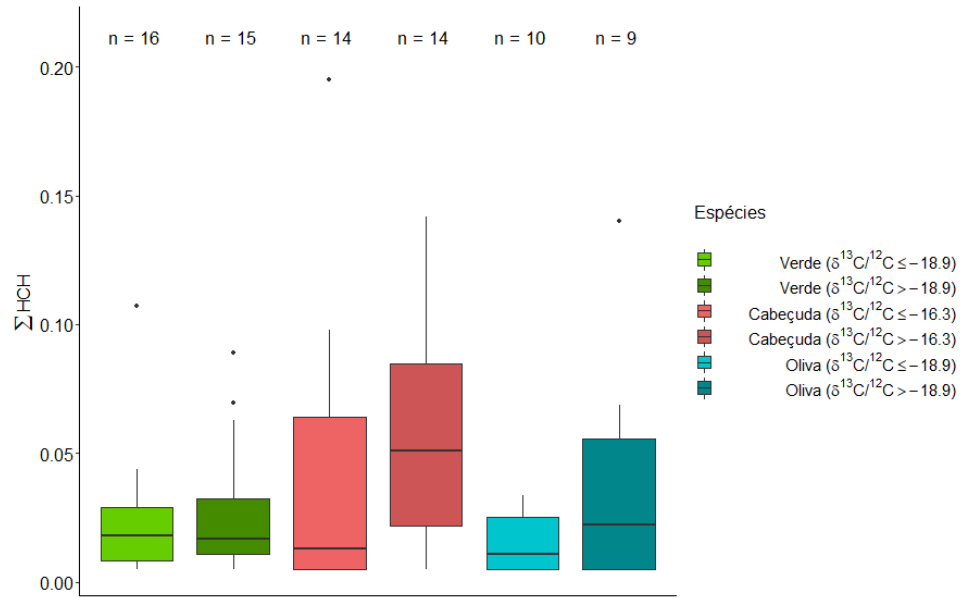


Figura B.7: Boxplot do poluente HCH pelas razões isotópicas de carbono das três espécies de tartarugas-marinhas.

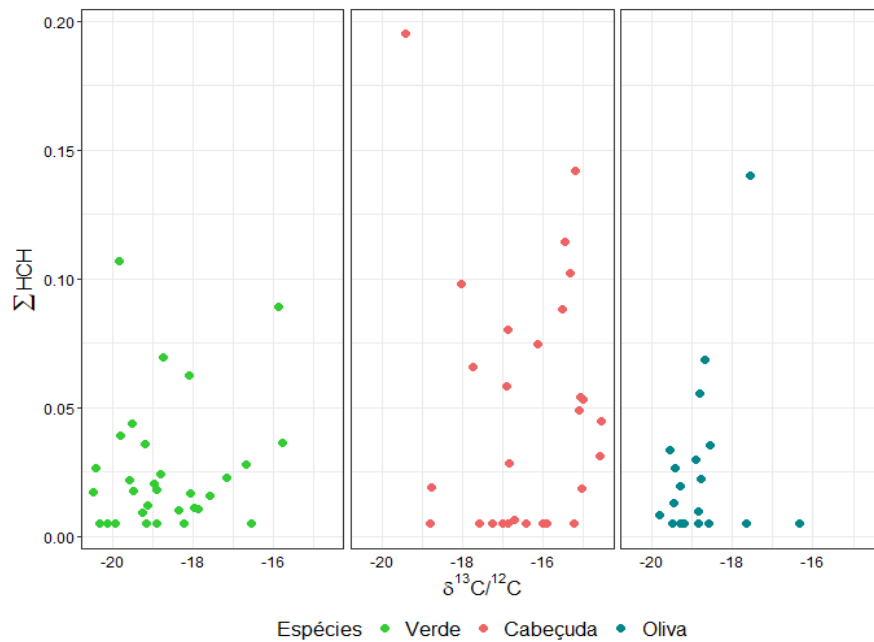


Figura B.8: Gráfico de dispersão do poluente HCH pela razão isotópica de carbono para as três espécies de tartarugas-marinhas.

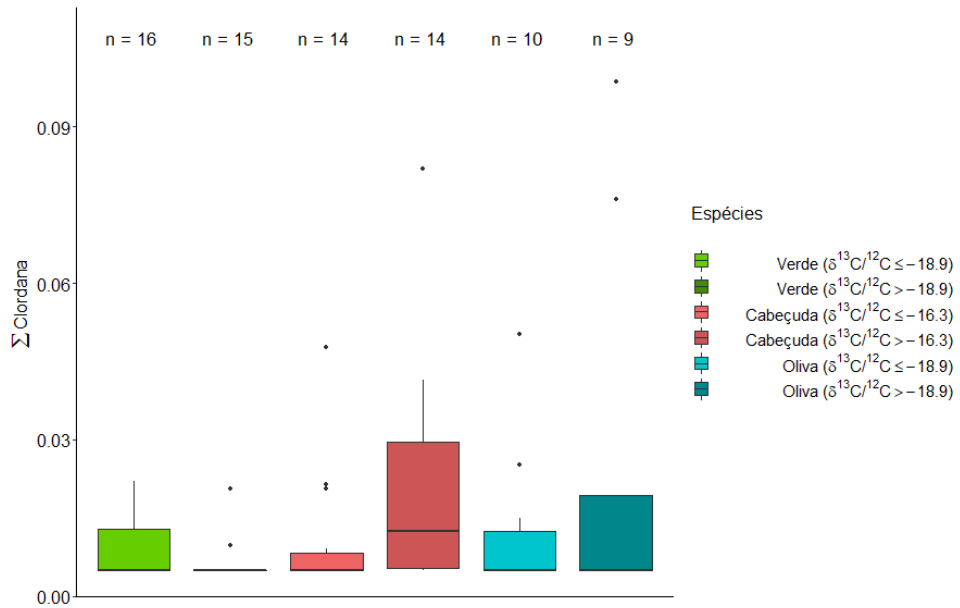


Figura B.9: Boxplot do poluente Clordana pelas razões isotópicas de carbono das três espécies de tartarugas-marinhas.

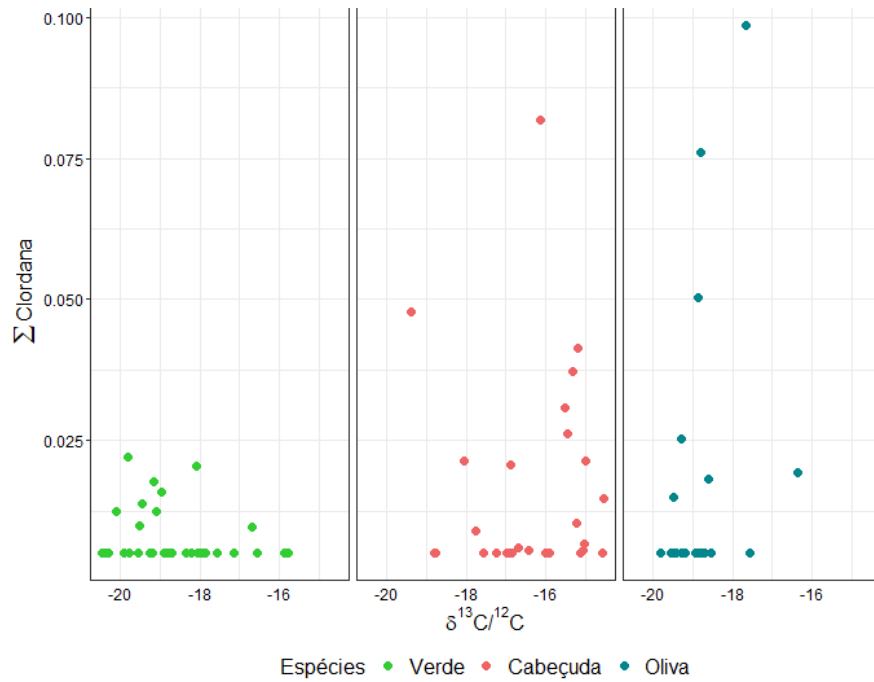


Figura B.10: Gráfico de dispersão do poluente Clordana pela razão isotópica de carbono para as três espécies de tartarugas-marinhas.

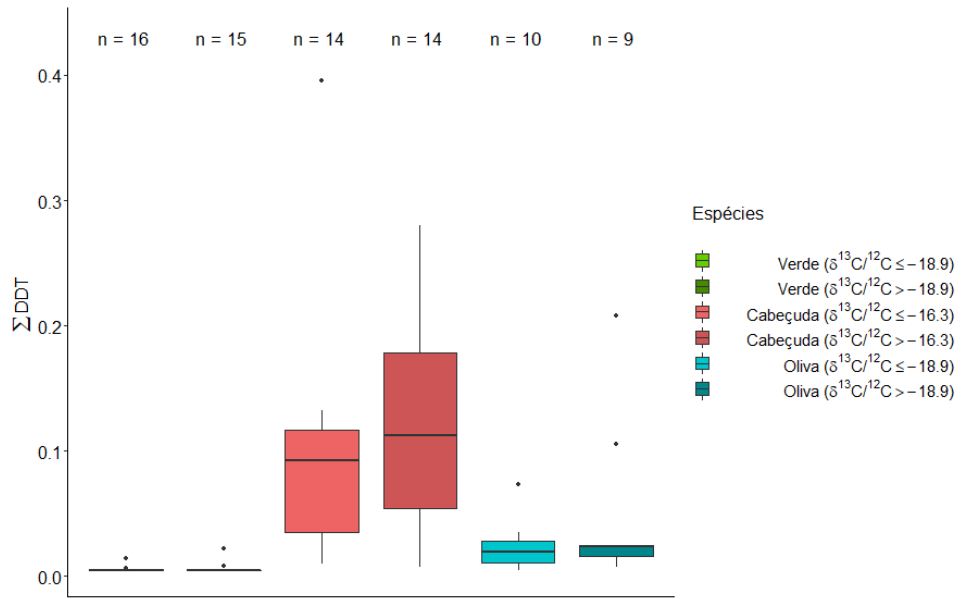


Figura B.11: Boxplot do poluente DDT pelas razões isotópicas de carbono das três espécies de tartarugas-marinhas.

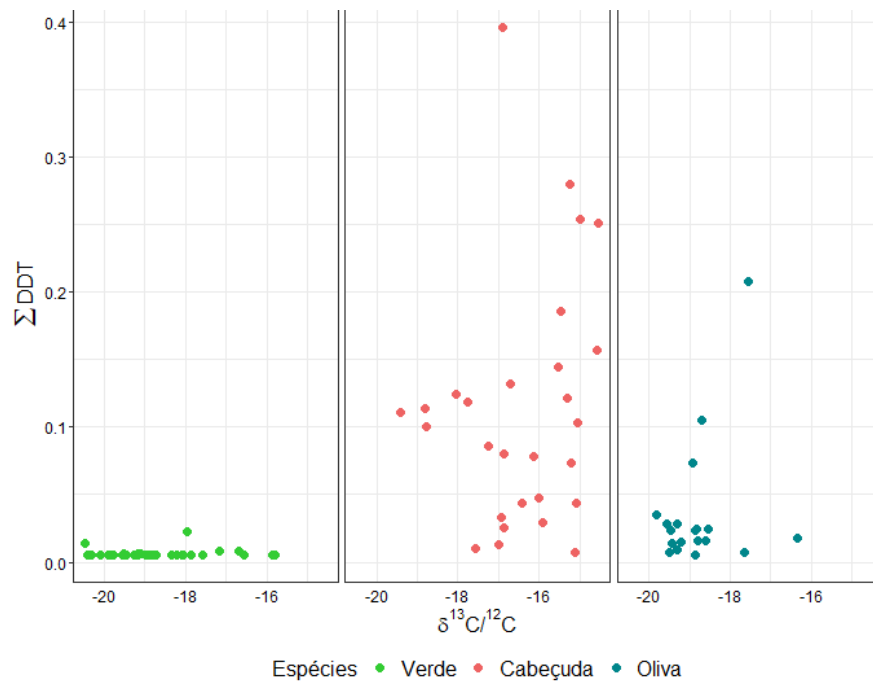


Figura B.12: Gráfico de dispersão do poluente DDT pela razão isotópica de carbono para as três espécies de tartarugas-marinhas.

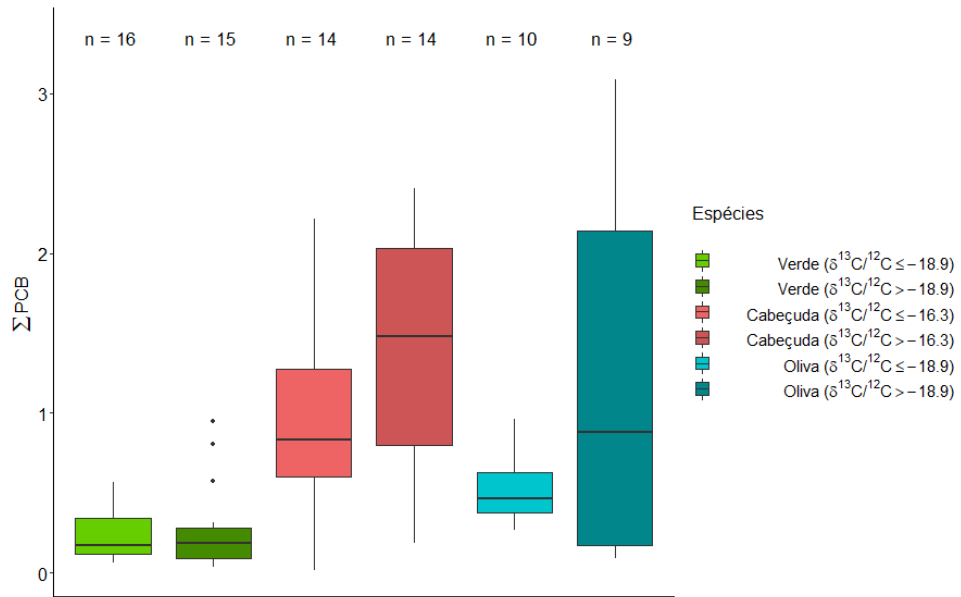


Figura B.13: Boxplot do poluente PCB pelas razões isotópicas de carbono das três espécies de tartarugas-marinhas.

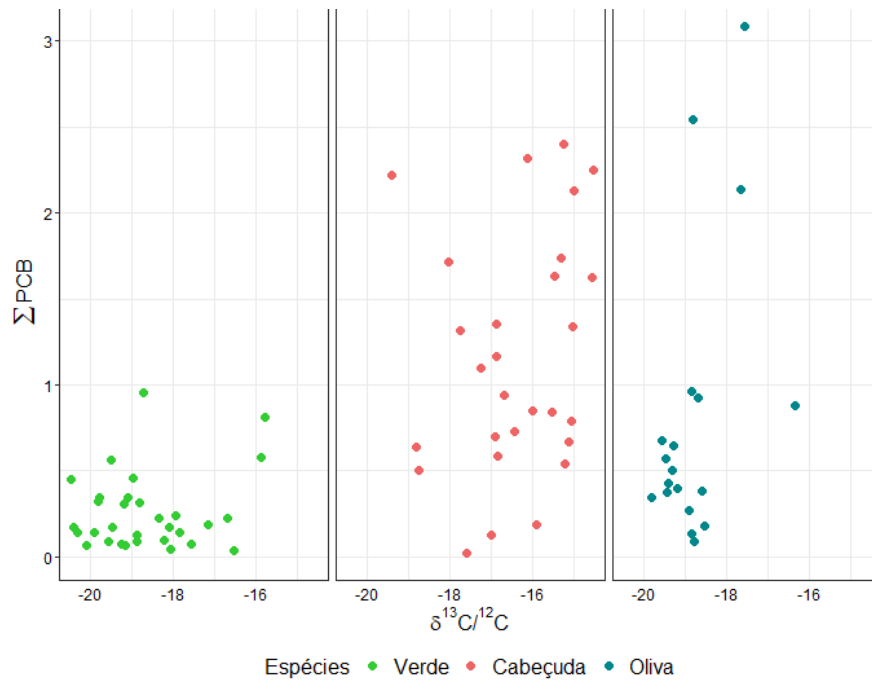


Figura B.14: Gráfico de dispersão do poluente PCB pela razão isotópica de carbono para as três espécies de tartarugas-marinhas.

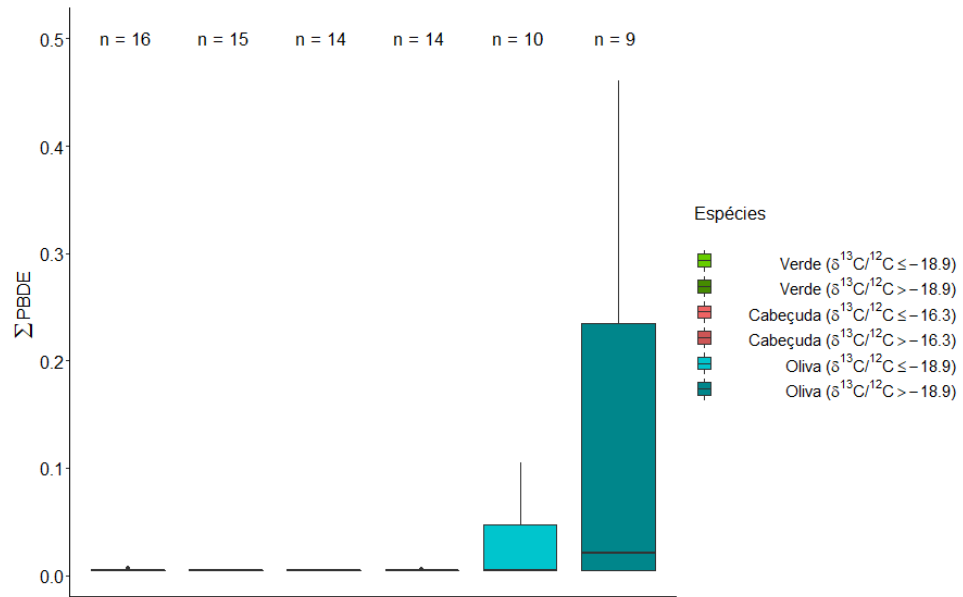


Figura B.15: Boxplot do poluente PBDE pelas razões isotópicas de carbono das três espécies de tartarugas-marinhas.

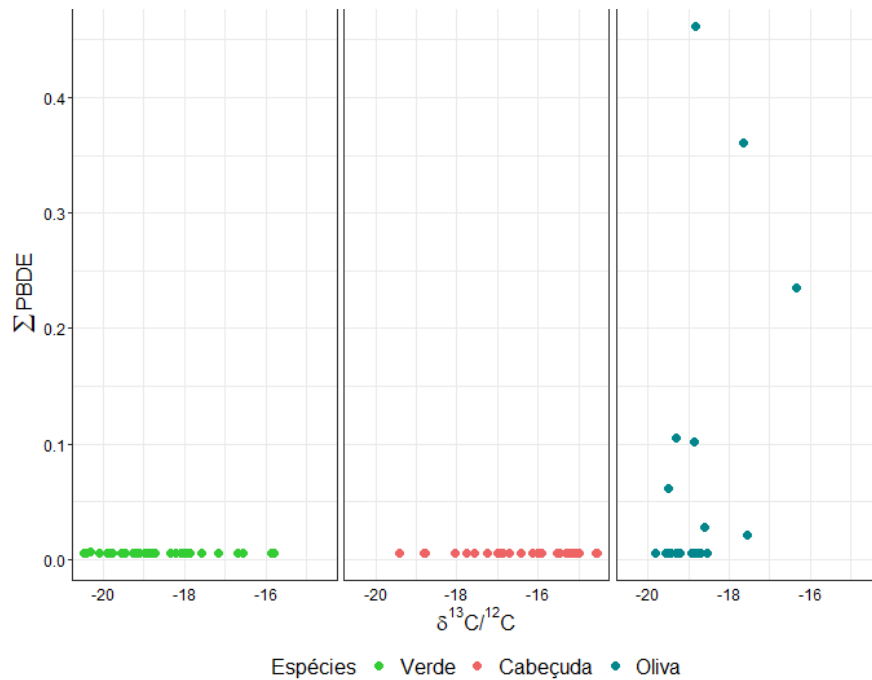


Figura B.16: Gráfico de dispersão do poluente PBDE pela razão isotópica de carbono para as três espécies de tartarugas-marinhas.

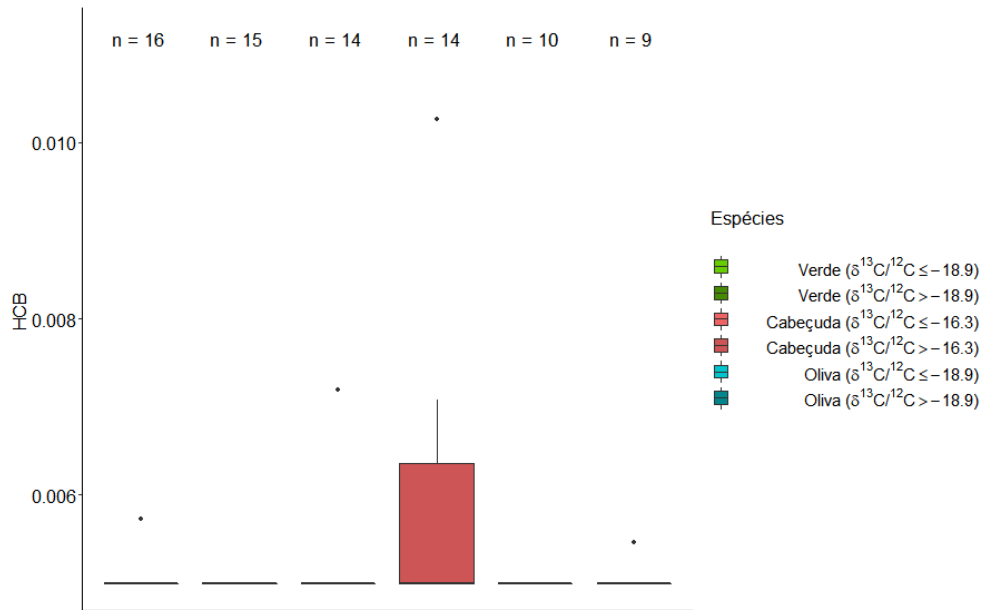


Figura B.17: Boxplot do poluente HCB pelas razões isotópicas de carbono das três espécies de tartarugas-marinhas.

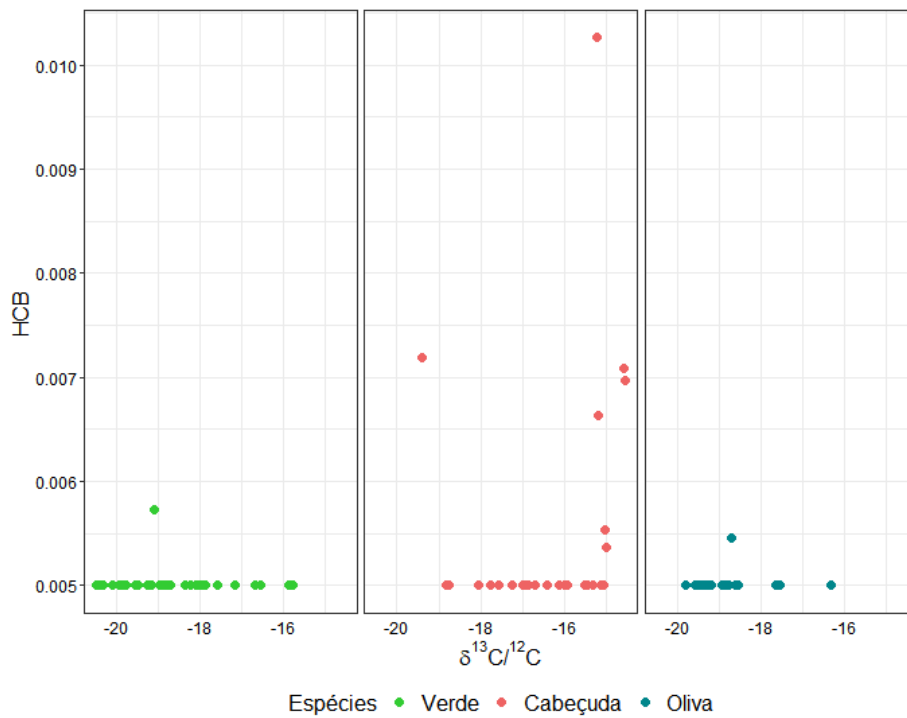


Figura B.18: Gráfico de dispersão do poluente HCB pela razão isotópica de carbono para as três espécies de tartarugas-marinhas.

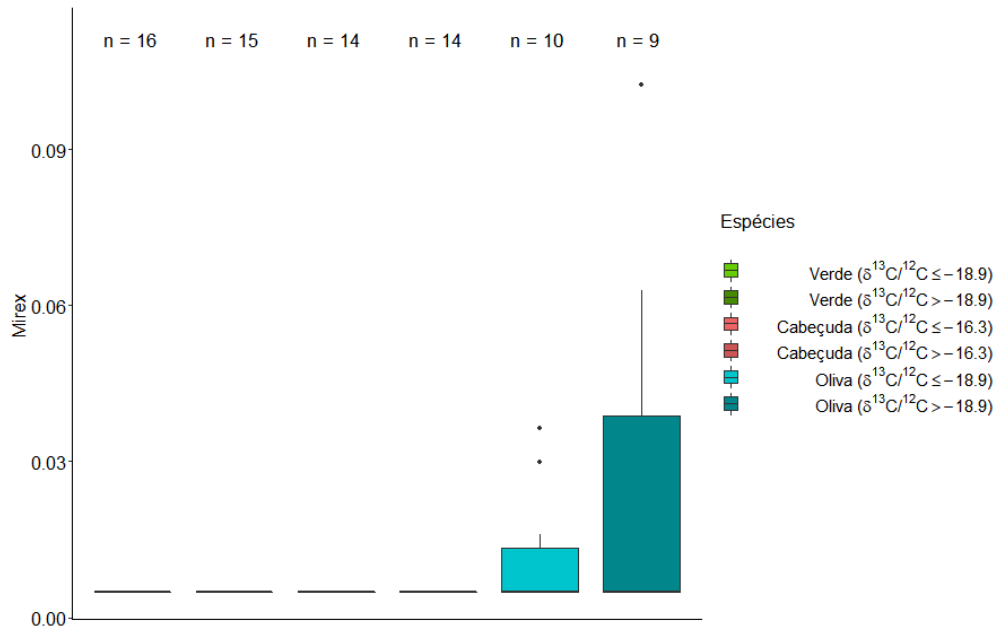


Figura B.19: Boxplot do poluente Mirex pelas razões isotópicas de carbono das três espécies de tartarugas-marinhas.

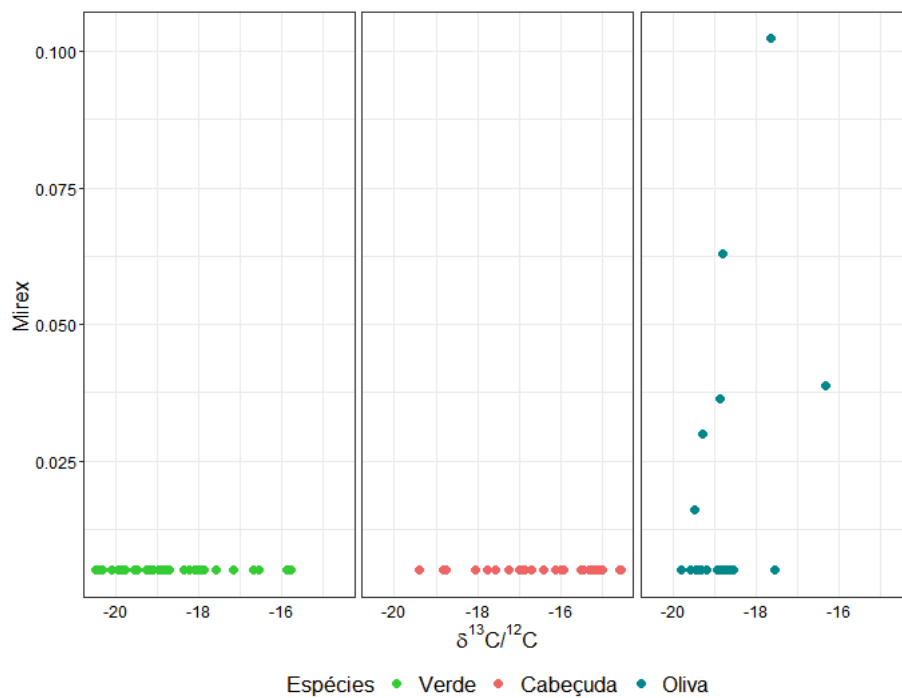


Figura B.20: Gráfico de dispersão do poluente Mirex pela razão isotópica de carbono para as três espécies de tartarugas-marinhas.

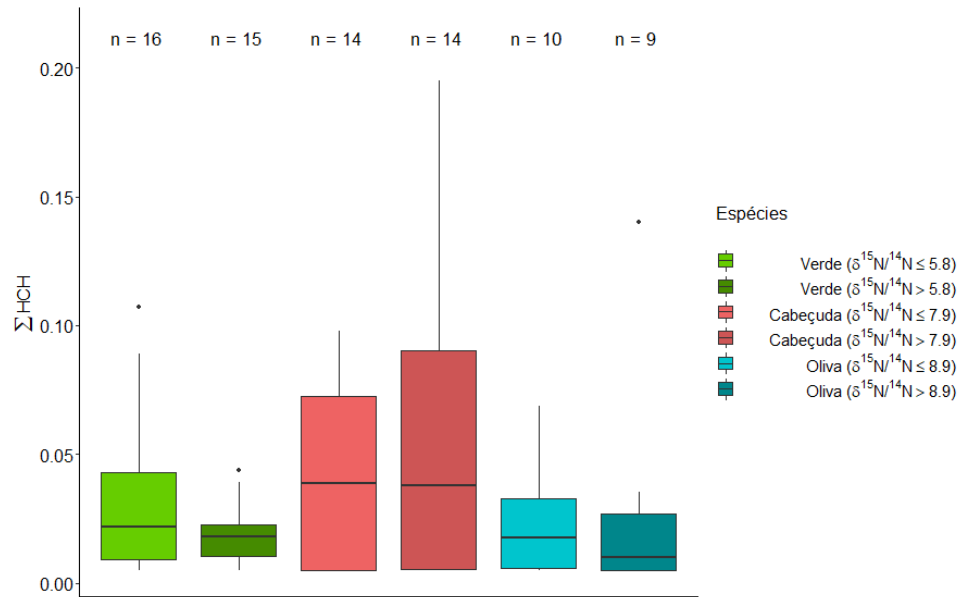


Figura B.21: Boxplot do poluente HCH pelas razões isotópicas de nitrogênio das três espécies de tartarugas-marinhas.

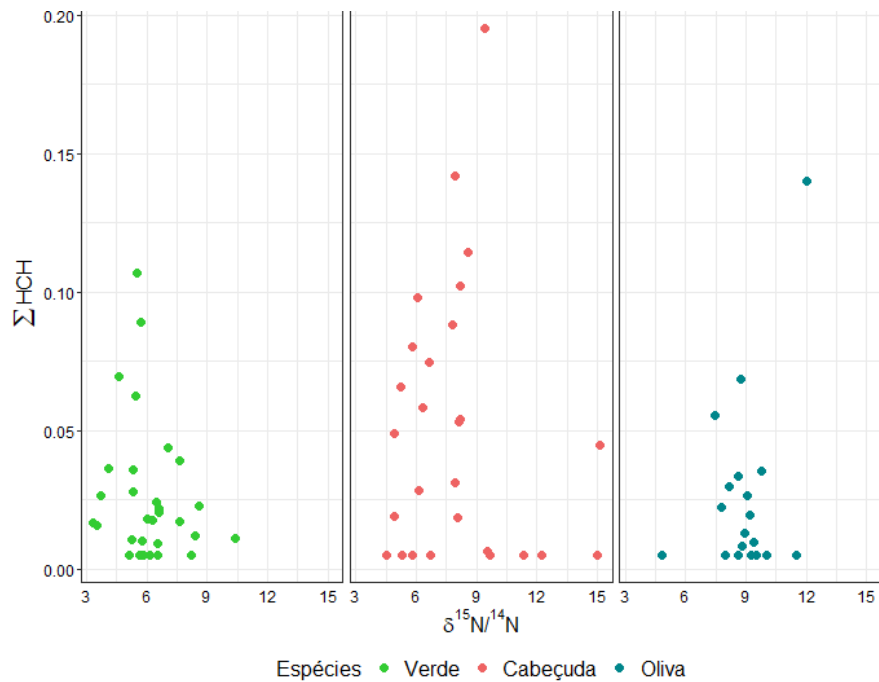


Figura B.22: Gráfico de dispersão do poluente HCH pela razão isotópica de nitrogênio para as três espécies de tartarugas-marinhas.

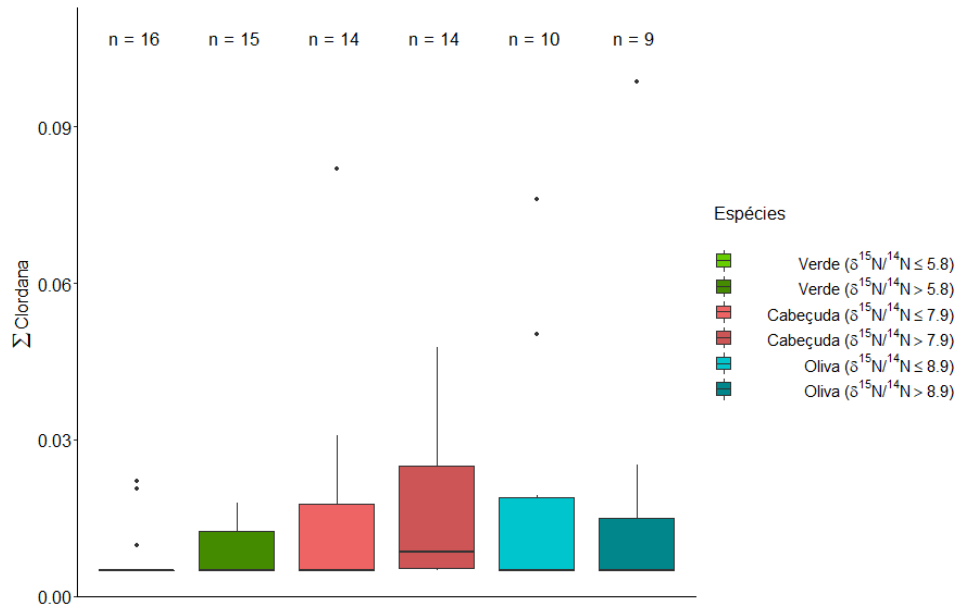


Figura B.23: Boxplot do poluente Clordana pelas razões isotópicas de nitrogênio das três espécies de tartarugas-marinhas.

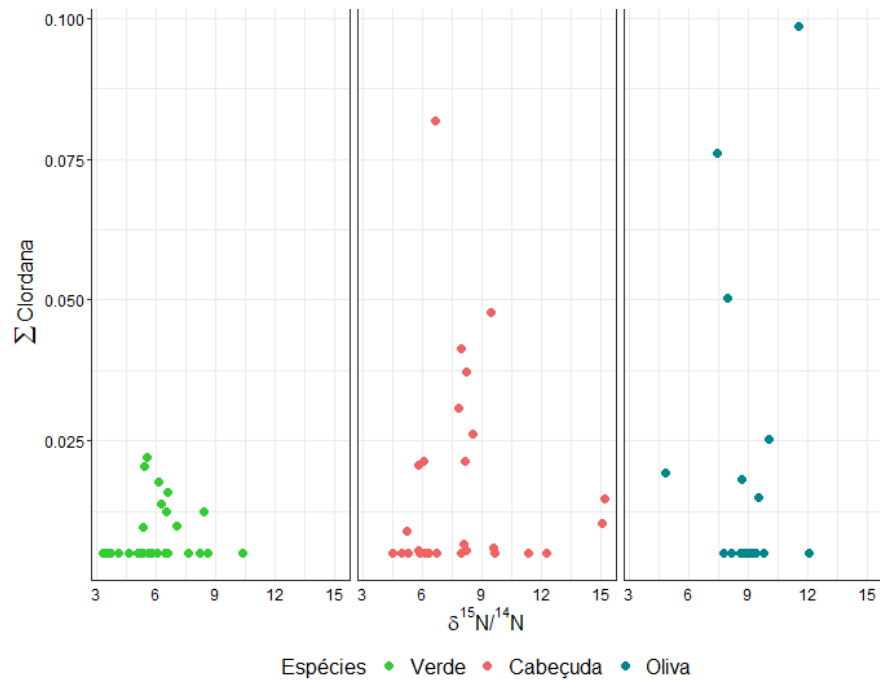


Figura B.24: Gráfico de dispersão do poluente Clordana pela razão isotópica de nitrogênio para as três espécies de tartarugas-marinhas.

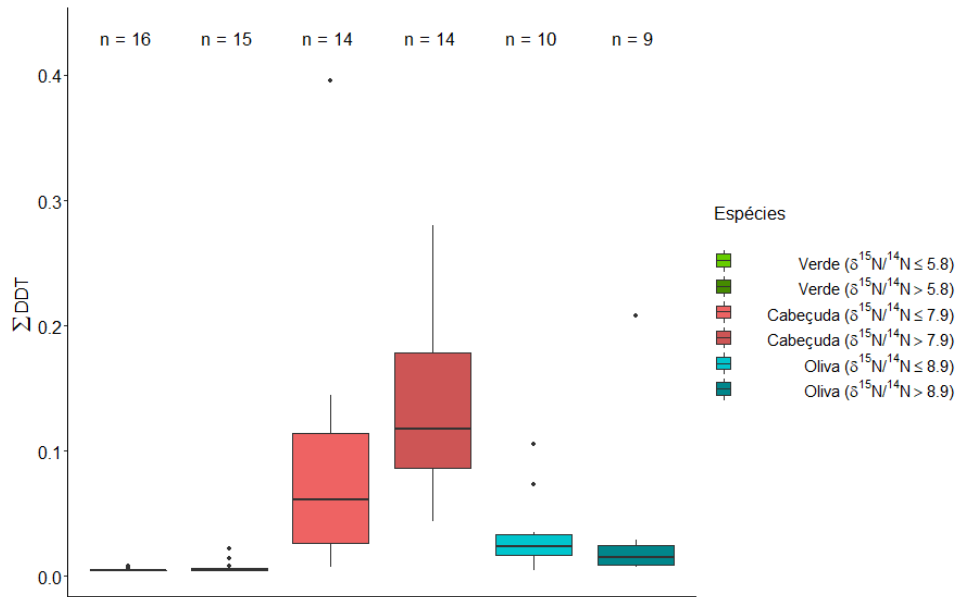


Figura B.25: Boxplot do poluente DDT pelas razões isotópicas de nitrogênio das três espécies de tartarugas-marinhas.

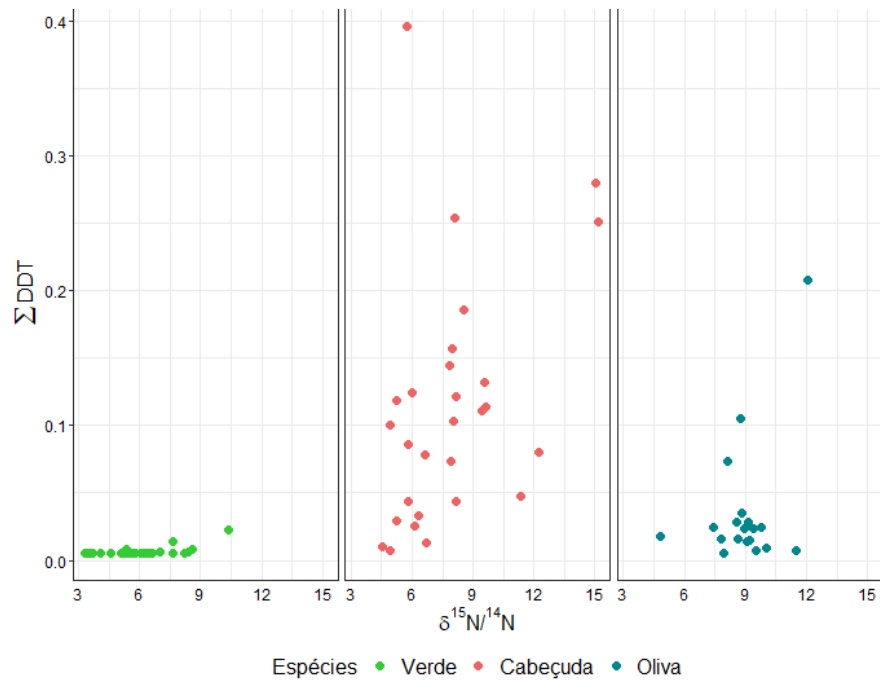


Figura B.26: Gráfico de dispersão do poluente DDT pela razão isotópica de nitrogênio para as três espécies de tartarugas-marinhas.

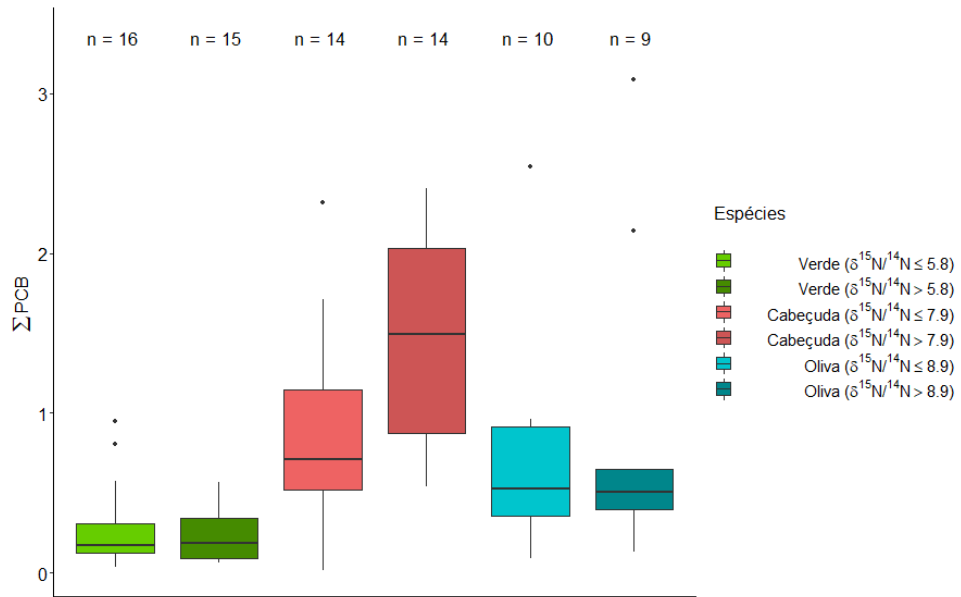


Figura B.27: Boxplot do poluente PCB pelas razões isotópicas de nitrogênio das três espécies de tartarugas-marinhas.

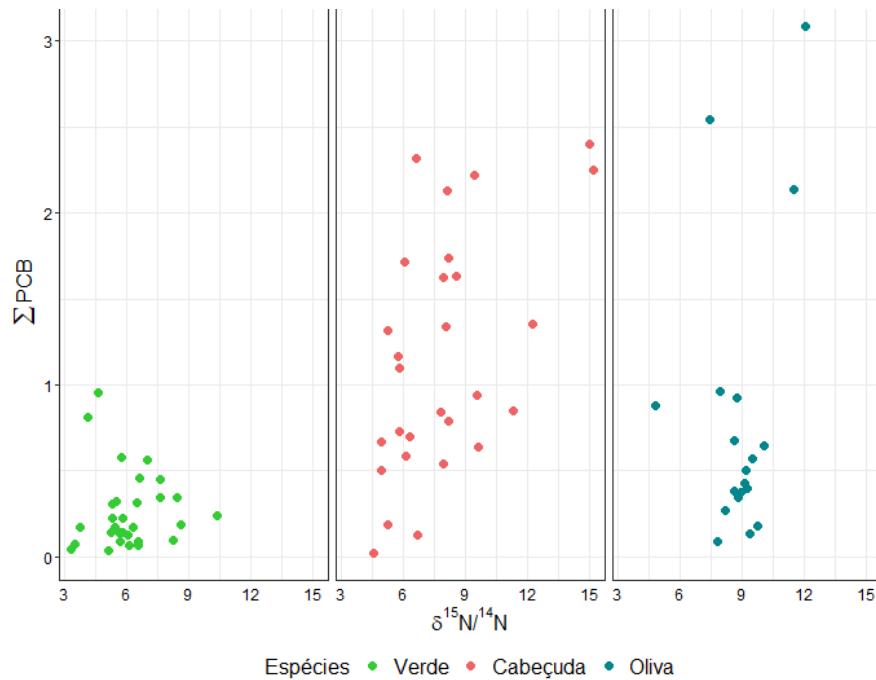


Figura B.28: Gráfico de dispersão do poluente PCB pela razão isotópica de nitrogênio para as três espécies de tartarugas-marinhas.

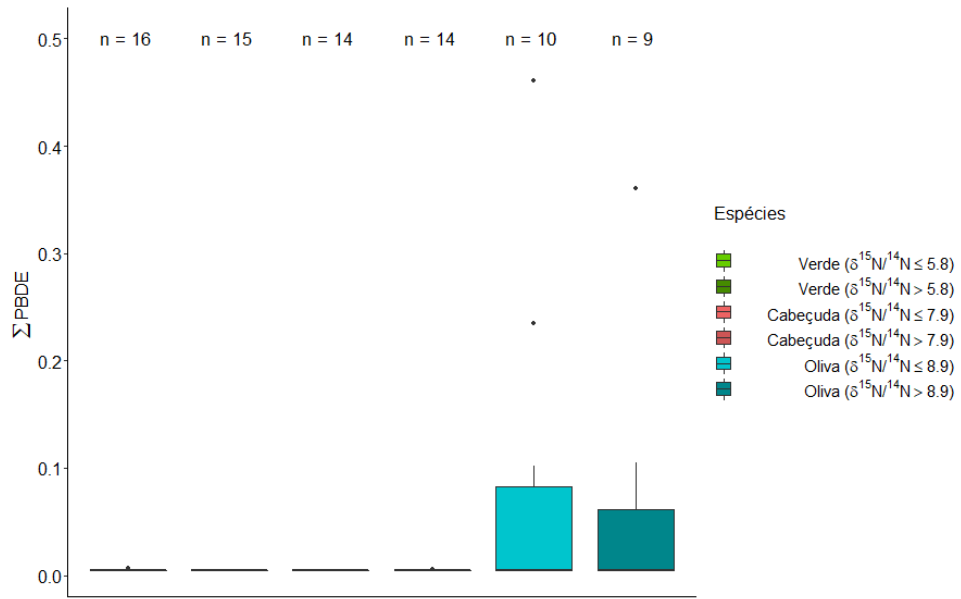


Figura B.29: Boxplot do poluente PBDE pelas razões isotópicas de nitrogênio das três espécies de tartarugas-marinhas.

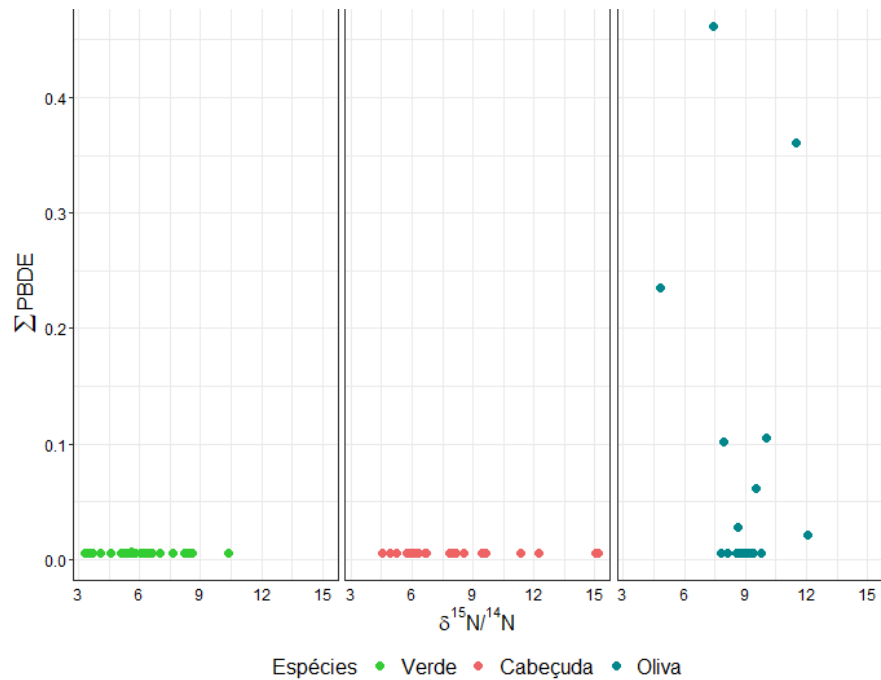


Figura B.30: Gráfico de dispersão do poluente PBDE pela razão isotópica de nitrogênio para as três espécies de tartarugas-marinhas.

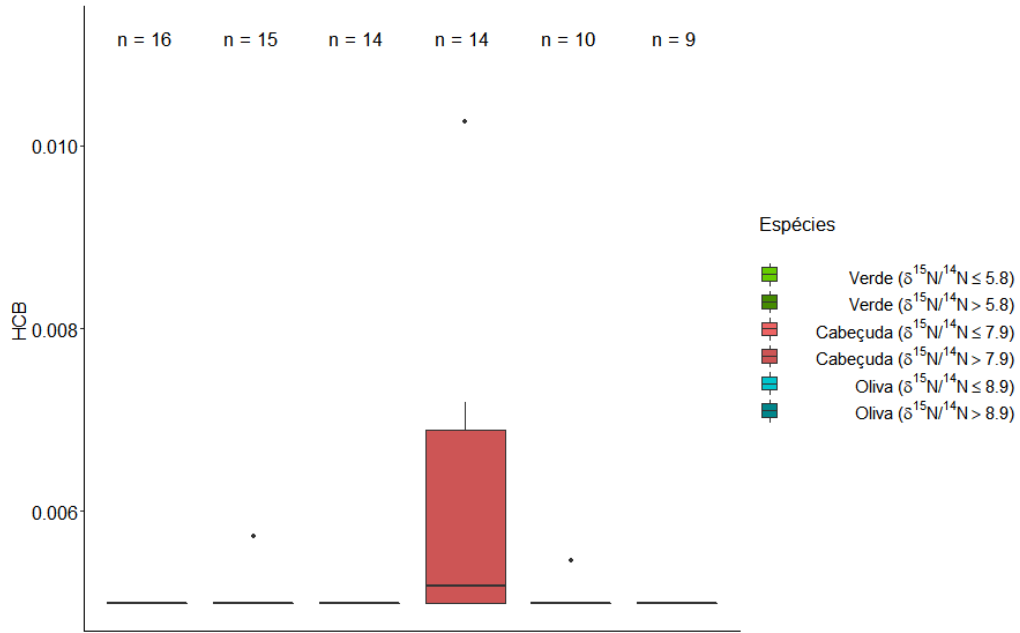


Figura B.31: Boxplot do poluente HCB pelas razões isotópicas de nitrogênio das três espécies de tartarugas-marinhas

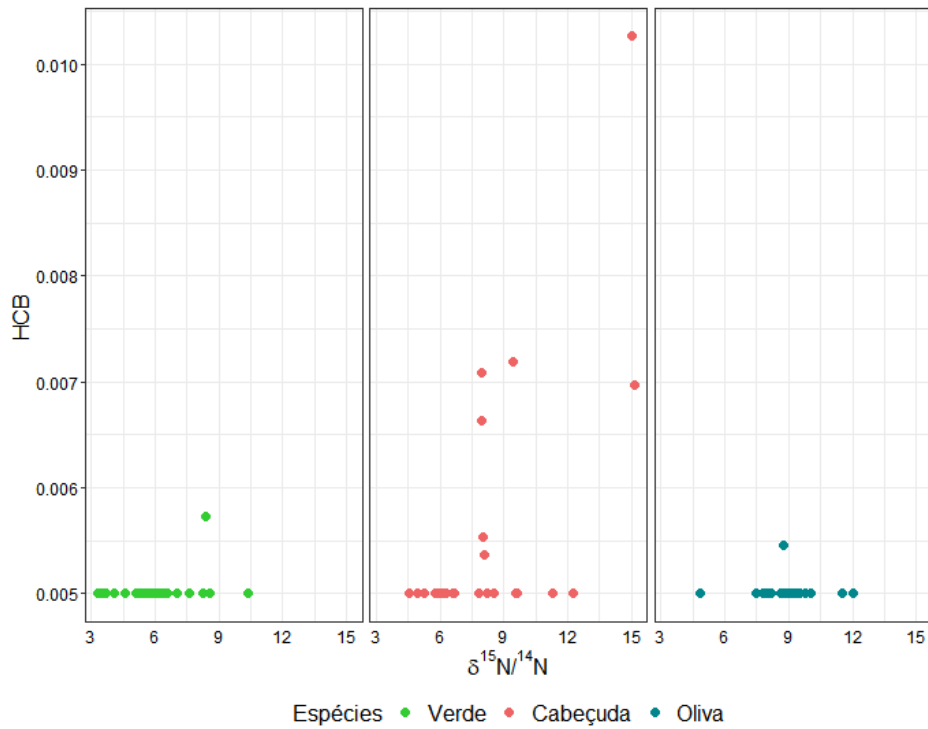


Figura B.32: Gráfico de dispersão do poluente HCB pela razão isotópica de nitrogênio para as três espécies de tartarugas-marinhas.

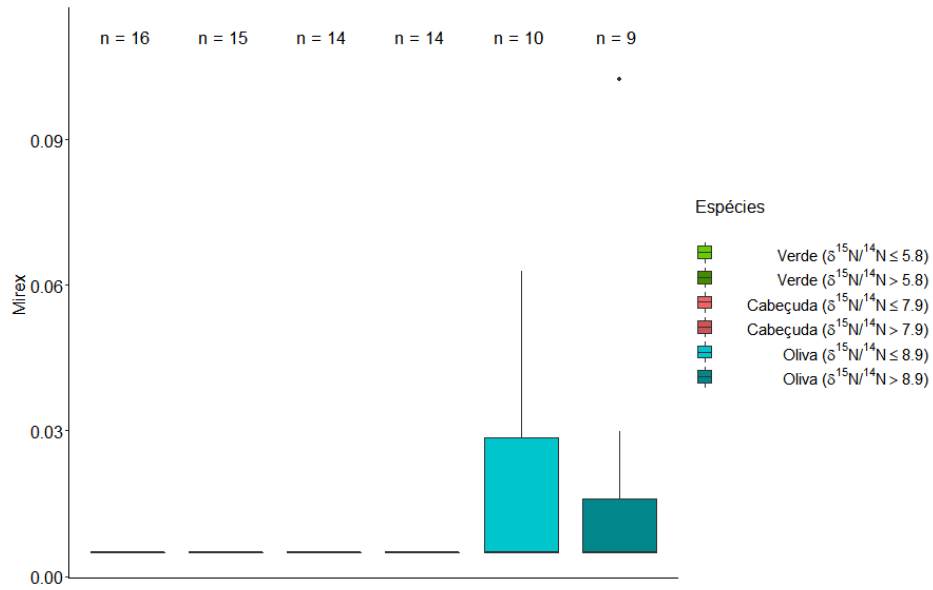


Figura B.33: Boxplot do poluente Mirex pelas razões isotópicas de nitrogênio das três espécies de tartarugas-marinhas

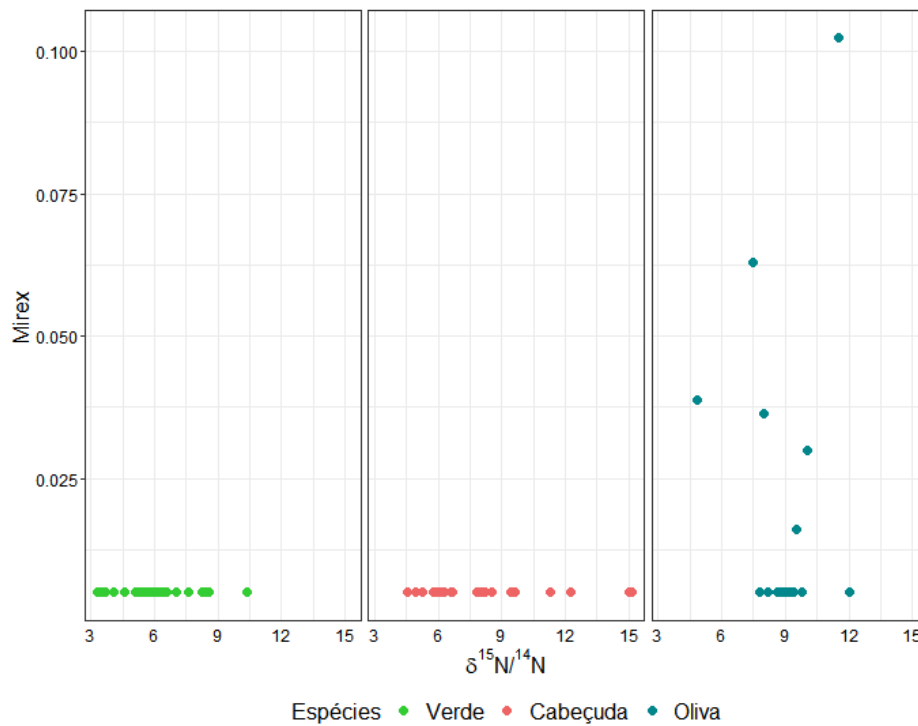


Figura B.34: Gráfico de dispersão do poluente Mirex pela razão isotópica de nitrogênio para as três espécies de tartarugas-marinhas.

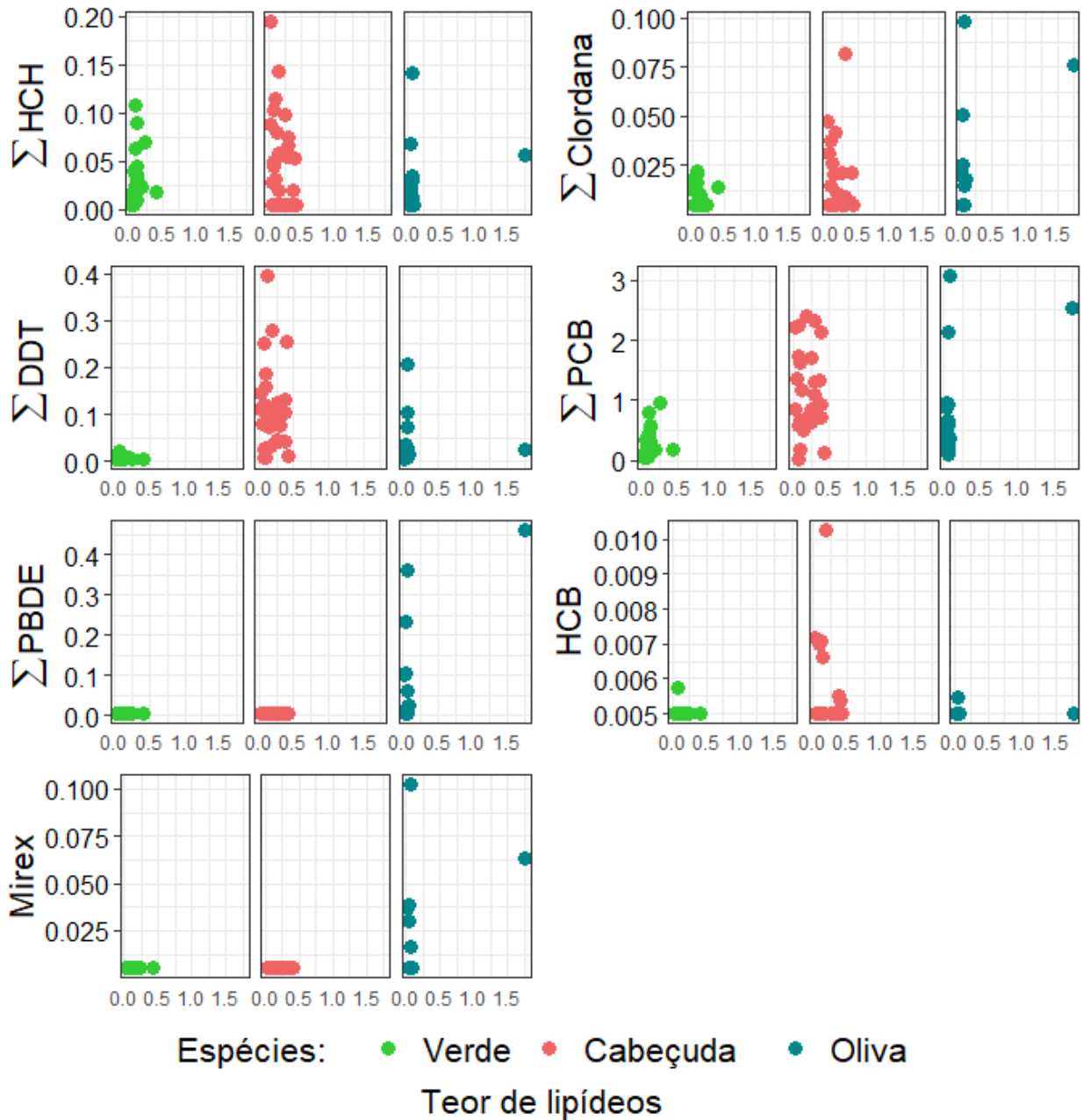


Figura B.35: Gráfico de dispersão dos 7 grupos de poluentes pelo Teor de lipídeos para as três espécies de tartarugas-marinhas.

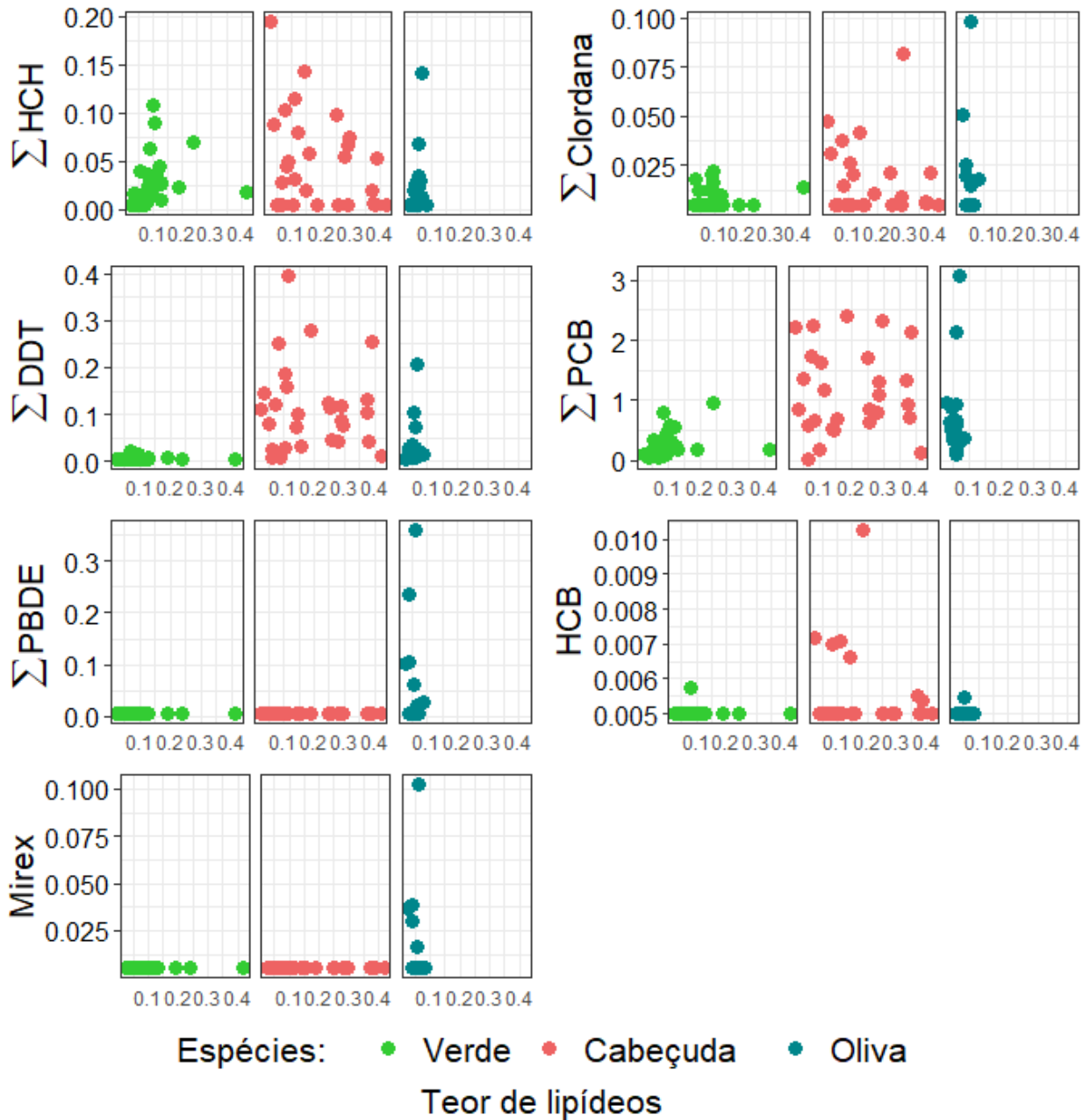


Figura B.36: Gráfico de dispersão dos 7 grupos de poluentes pelo Teor de lipídeos para as três espécies de tartarugas-marinhas, retirando o ponto de alavanca dos dados das tartarugas-olivas.



Figura B.37: Matriz de correlação entre as variáveis explicativas (Isótopos estáveis e Teor de lipídeos) e as variáveis de interesse (POPs), para as tartarugas-verdes.



Figura B.38: Matriz de correlação entre as variáveis explicativas (Isótopos estáveis e Teor de lipídeos) e as variáveis de interesse (POPs), para as tartarugas-cabeçudas.

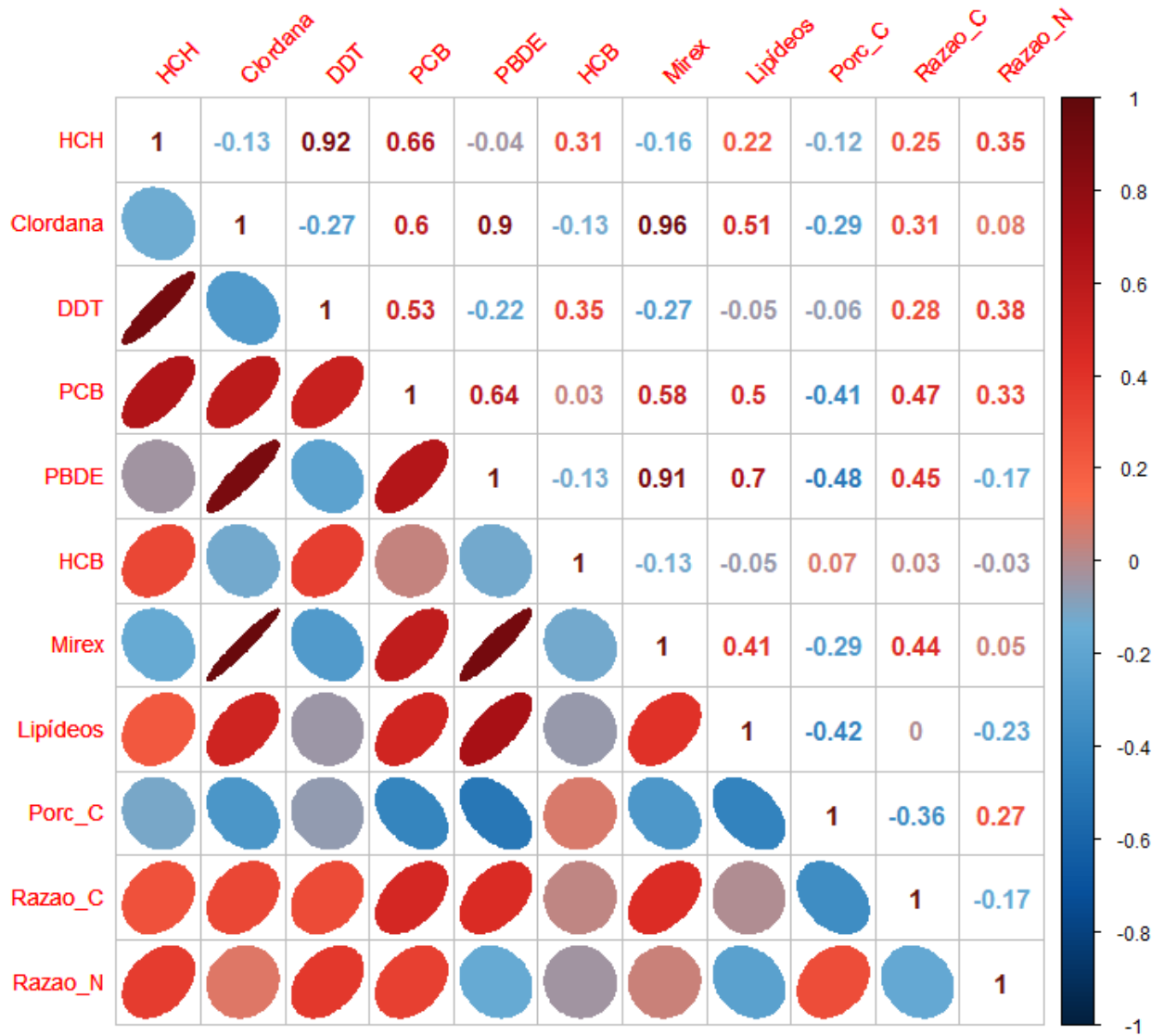


Figura B.39: Matriz de correlação entre as variáveis explicativas (Isótopos estáveis e Teor de lipídeos) e as variáveis de interesse (POPs), para as tartarugas-olivas.

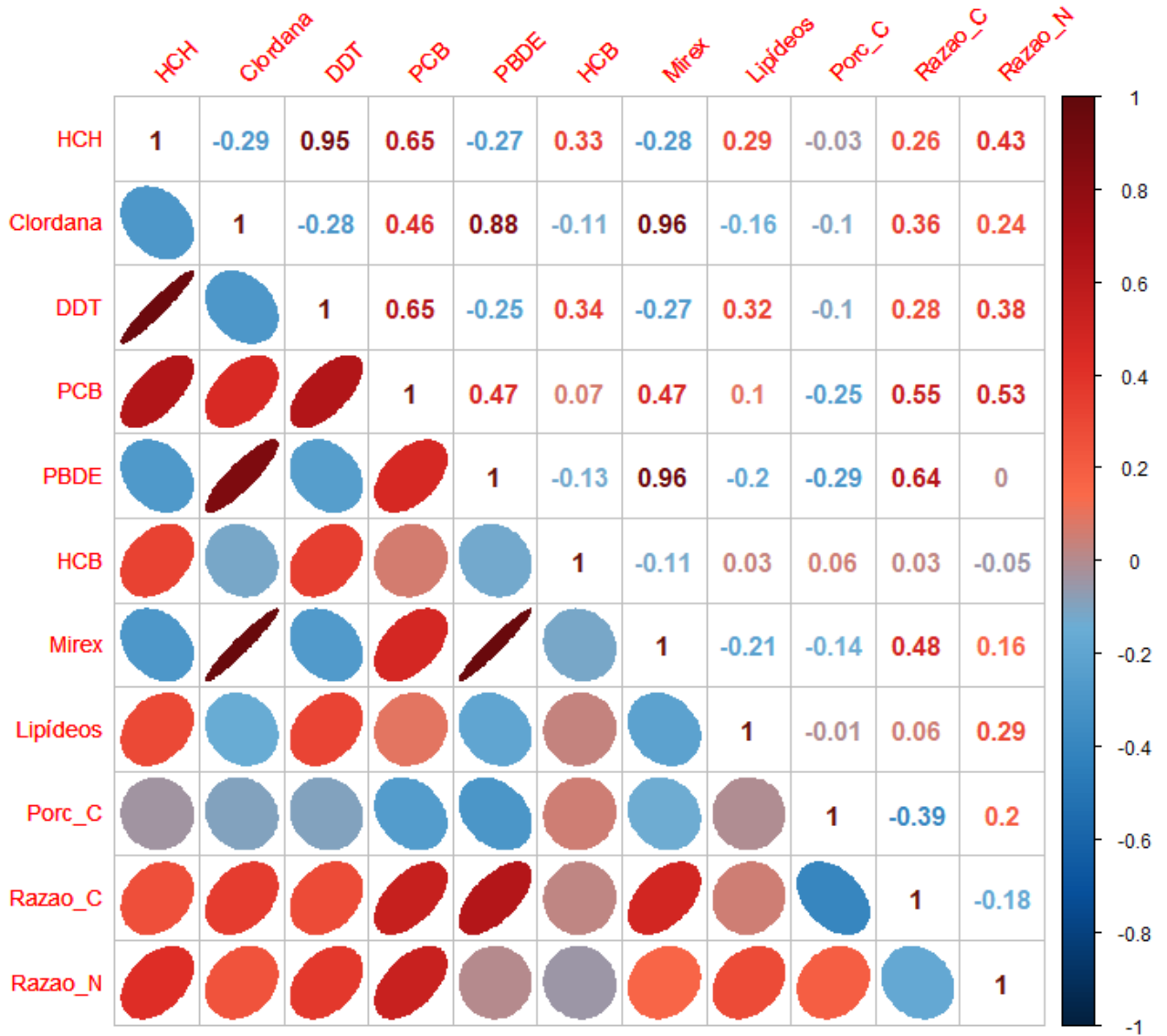


Figura B.40: Matriz de correlação entre as variáveis explicativas (Isótopos estáveis e Teor de lipídeos) e as variáveis de interesse (POPs), para as tartarugas-olivas, retirando o ponto de alavanca.

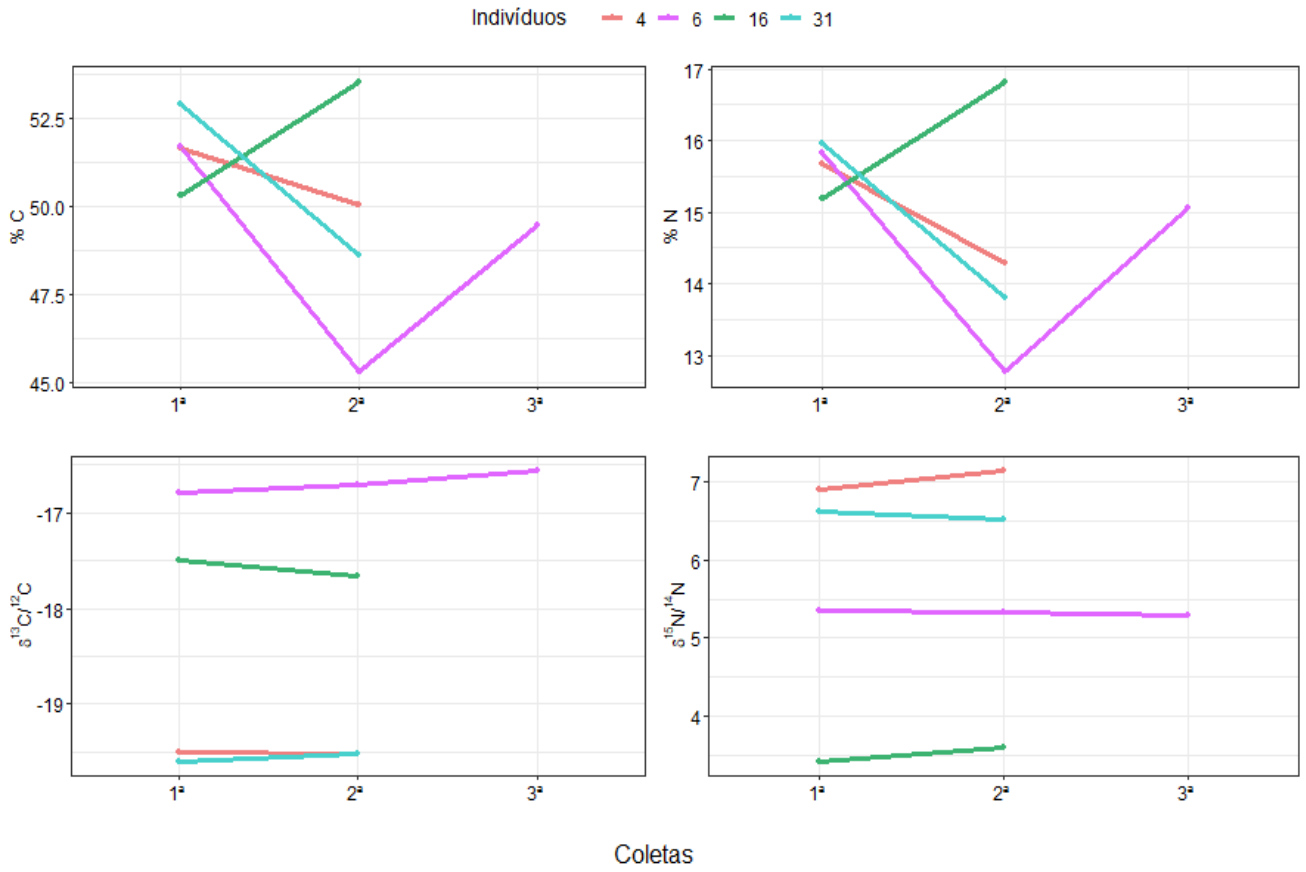


Figura B.41: Gráficos das medidas repetidas das tartarugas-verdes, segundo as variáveis explicativas de Isótopos estáveis.

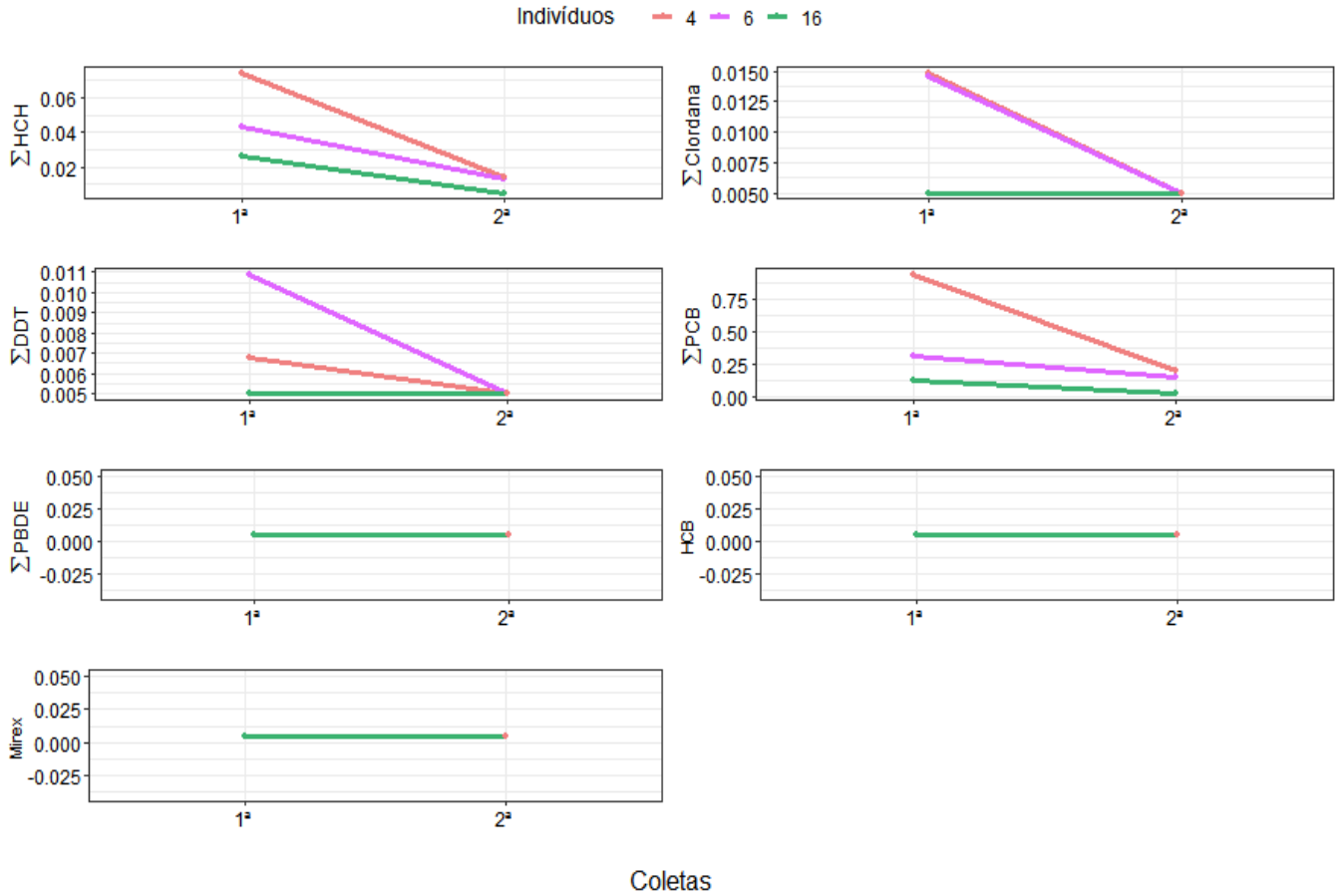


Figura B.42: Gráficos das medidas repetidas das tartarugas-verdes, segundo os 7 grupos de poluentes.

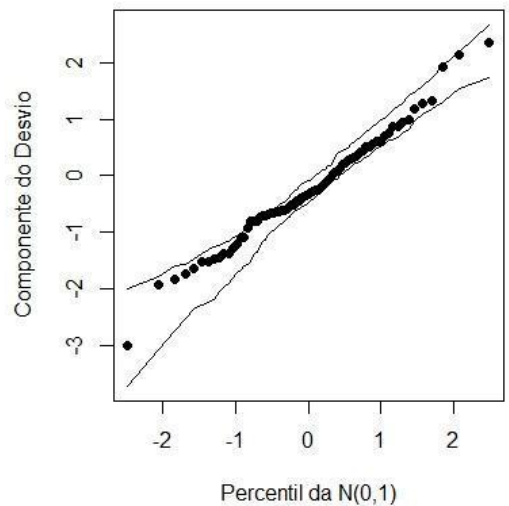


Figura B.43: Gráfico normal de probabilidades referente ao modelo gama final ajustado aos dados sobre salário de executivos.

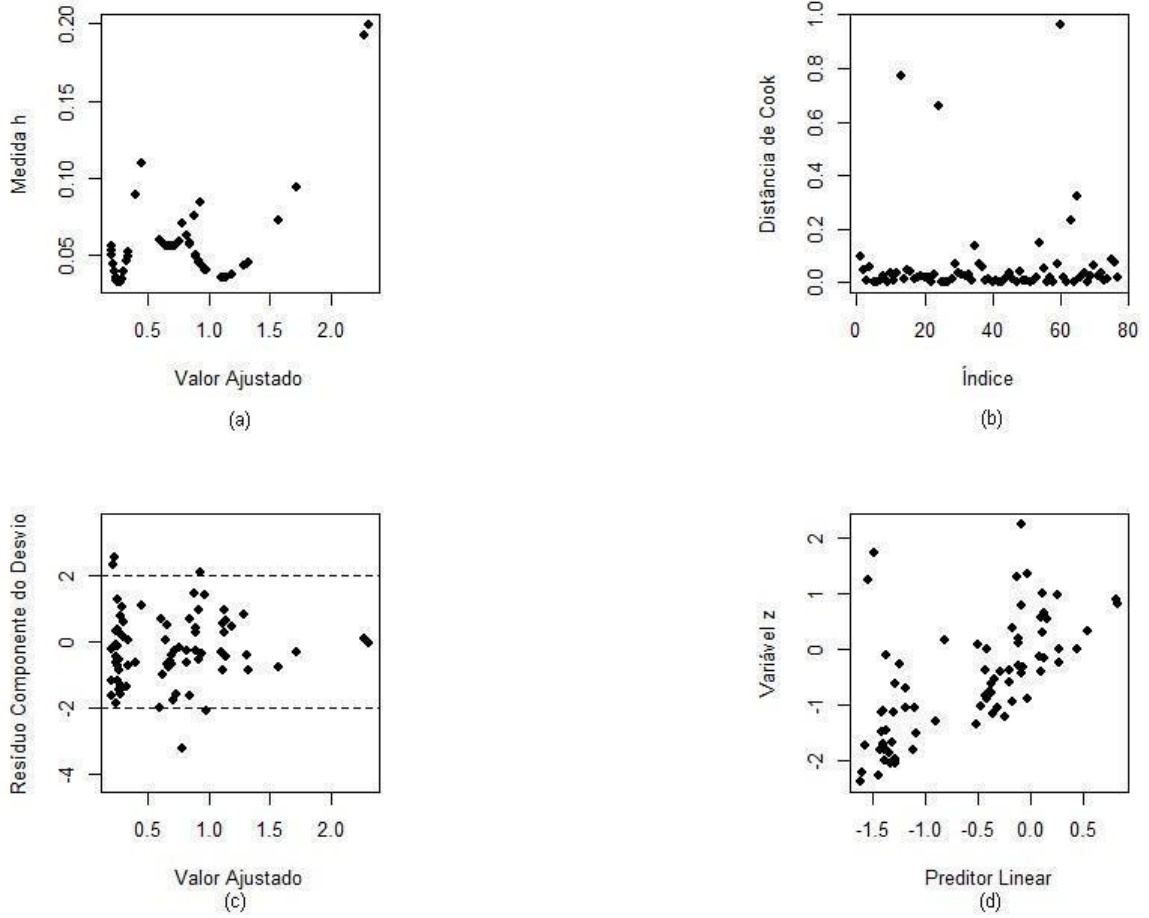


Figura B.44: Gráficos de diagnóstico referentes ao modelo gama ajustado aos dados sobre poluente PCB.

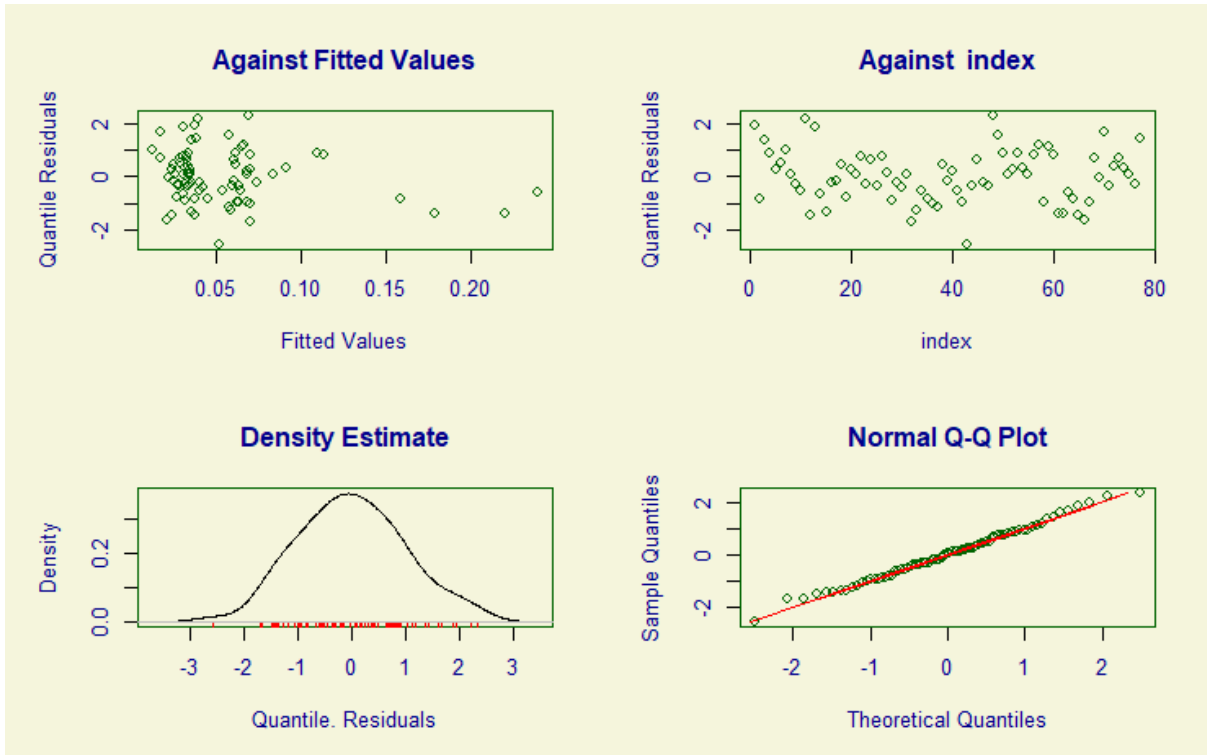


Figura B.45: Gráficos de diagnóstico referentes ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente HCH.

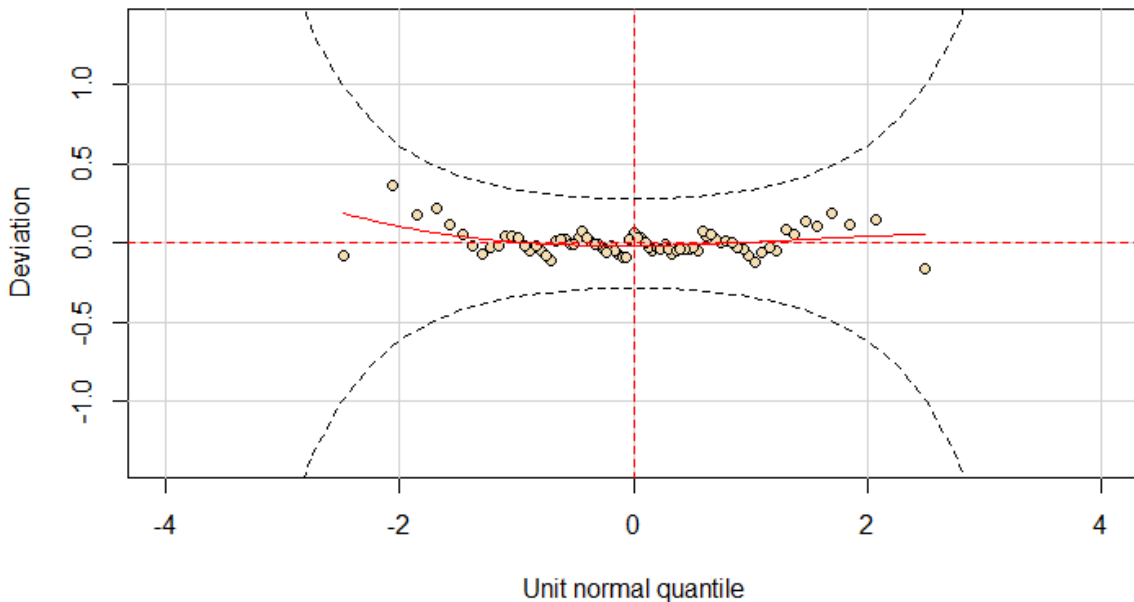


Figura B.46: Gráfico de minhoca (*worm plot*) referente ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente HCH.

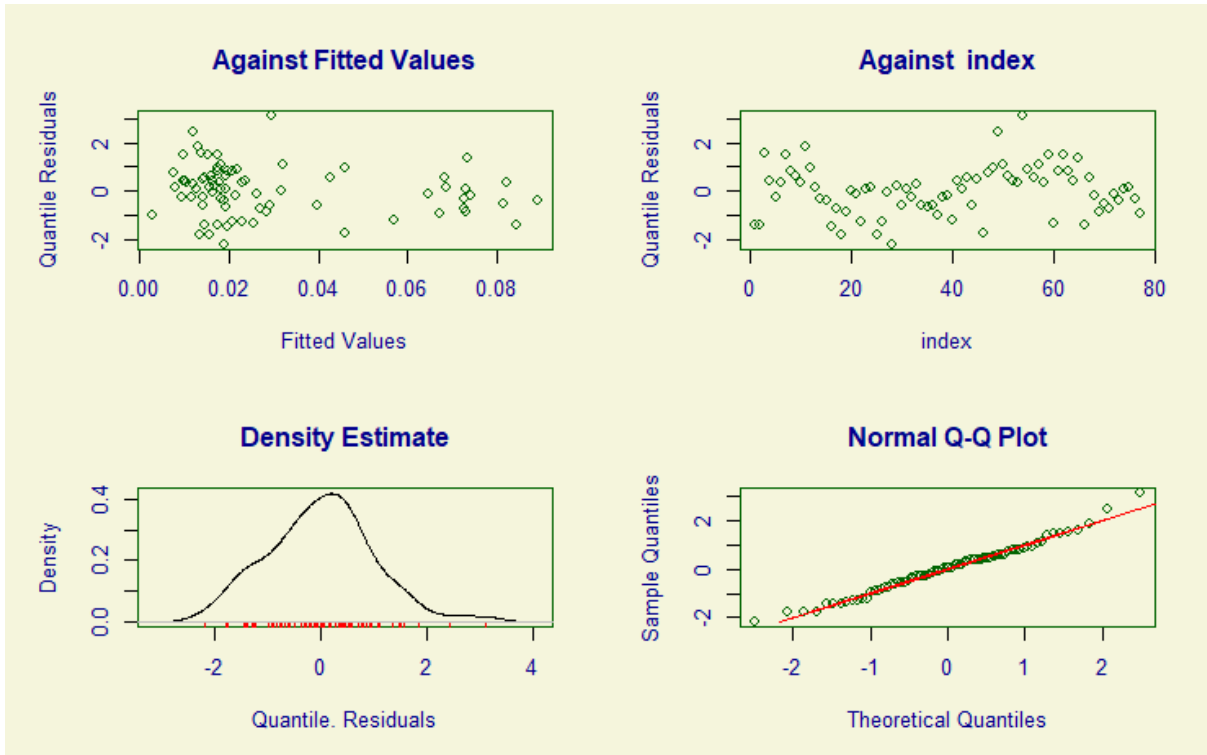


Figura B.47: Gráficos de diagnóstico referentes ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente Clordana.

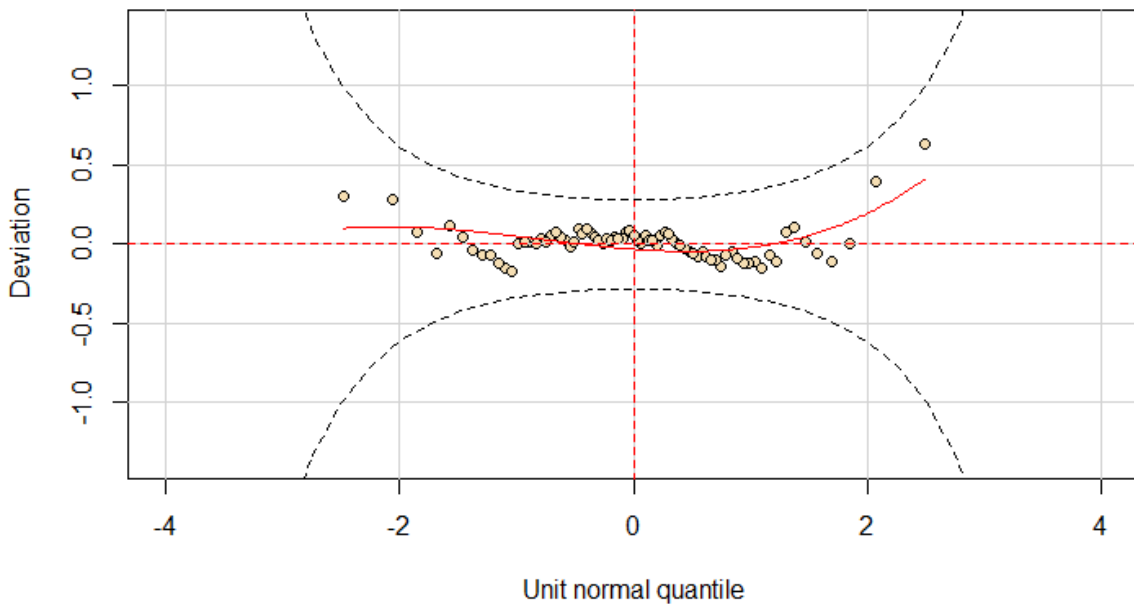


Figura B.48: Gráfico de minhoca (*worm plot*) referente ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente Clordana.

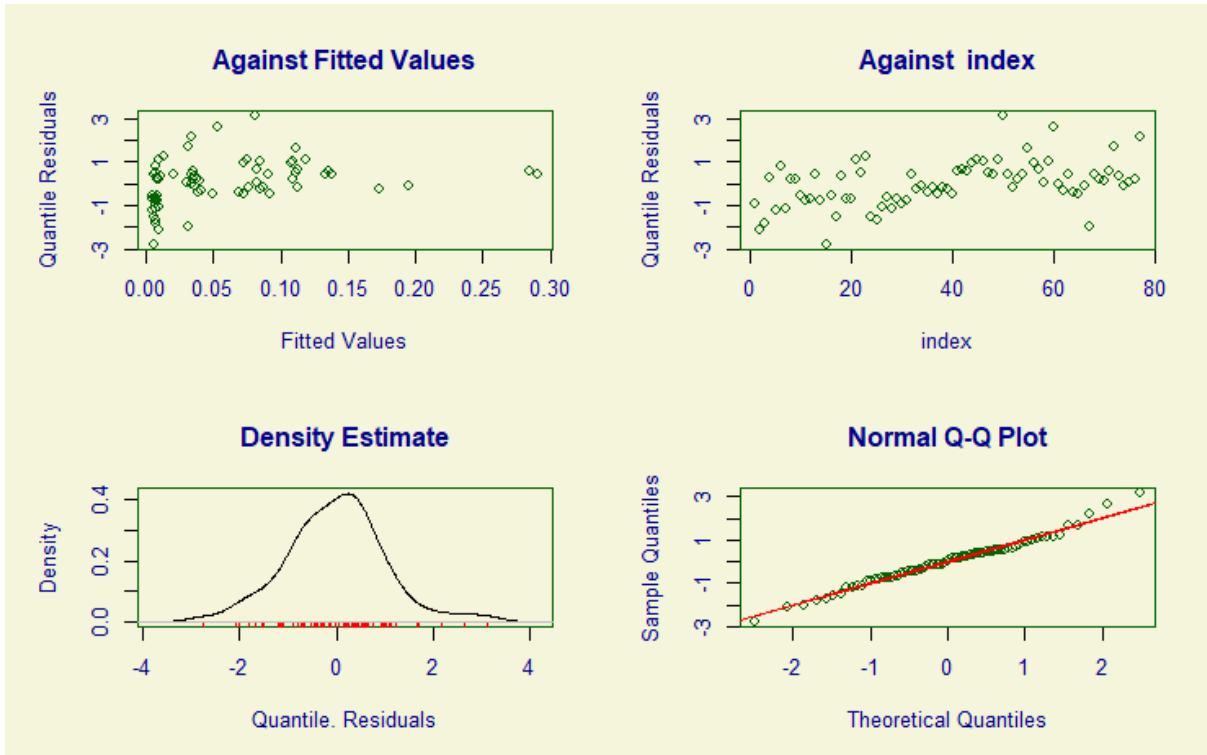


Figura B.49: Gráficos de diagnóstico referentes ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente DDT.

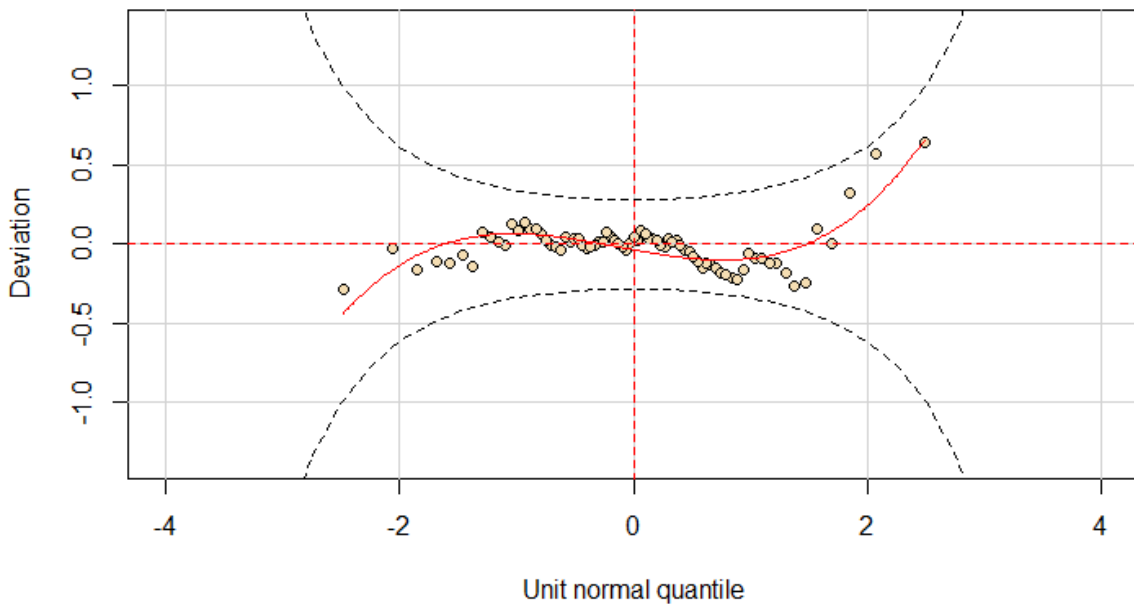


Figura B.50: Gráfico de minhoca (*worm plot*) referente ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente DDT.

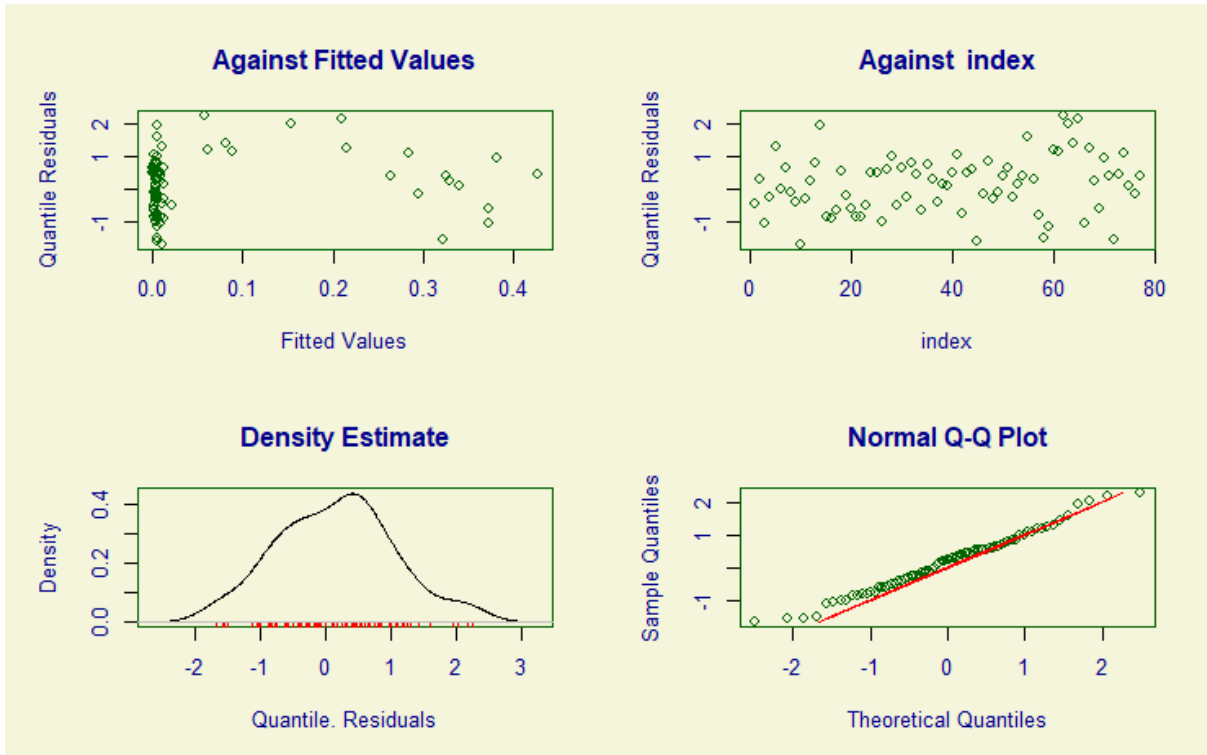


Figura B.51: Gráficos de diagnóstico referentes ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente PBDE.

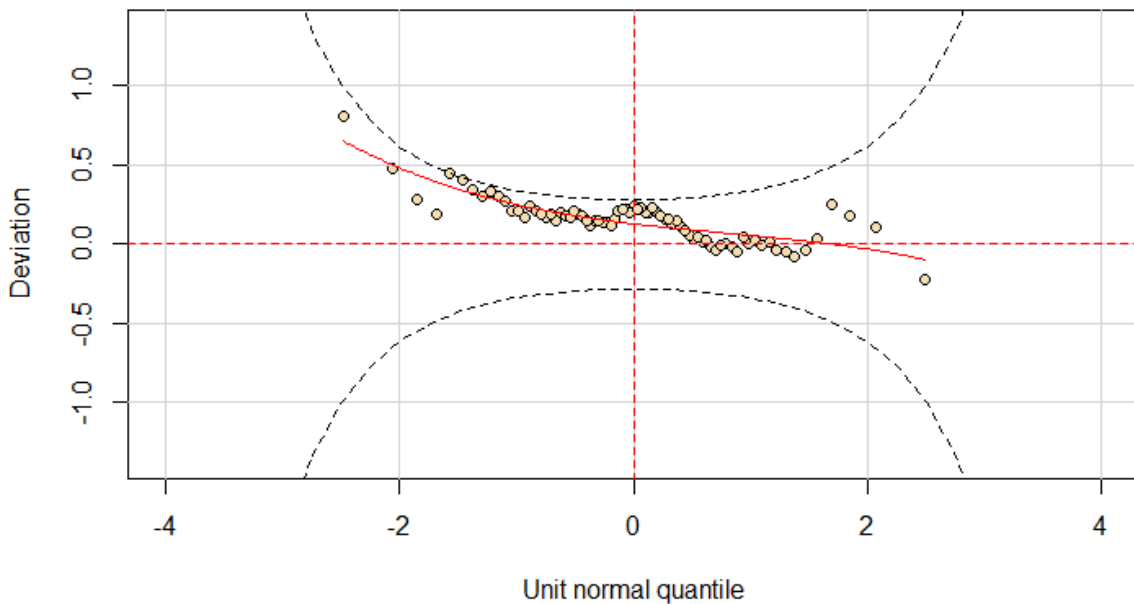


Figura B.52: Gráfico de minhoca (*worm plot*) referente ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente PBDE.

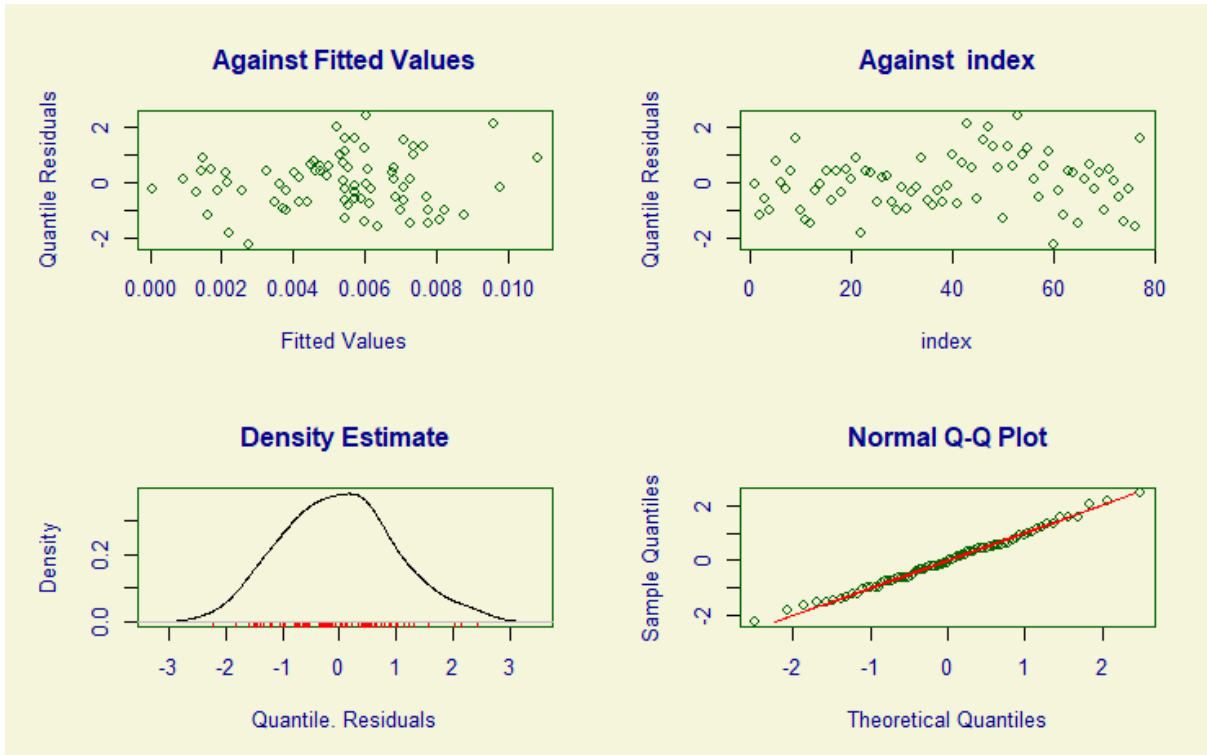


Figura B.53: Gráficos de diagnóstico referentes ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente HCB.

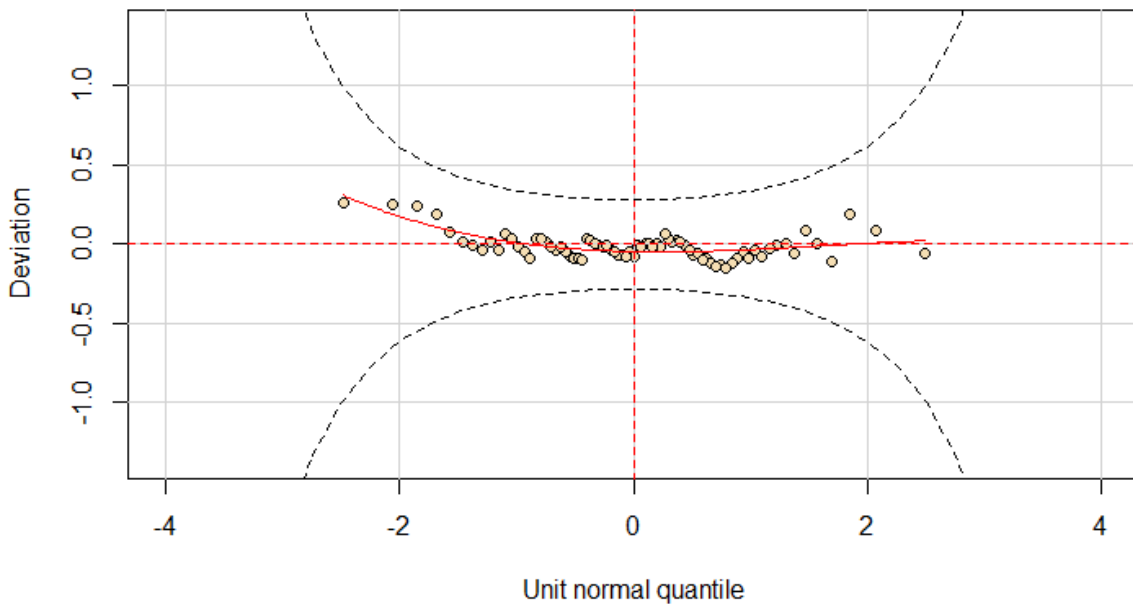


Figura B.54: Gráfico de minhoca (*worm plot*) referente ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente HCB.

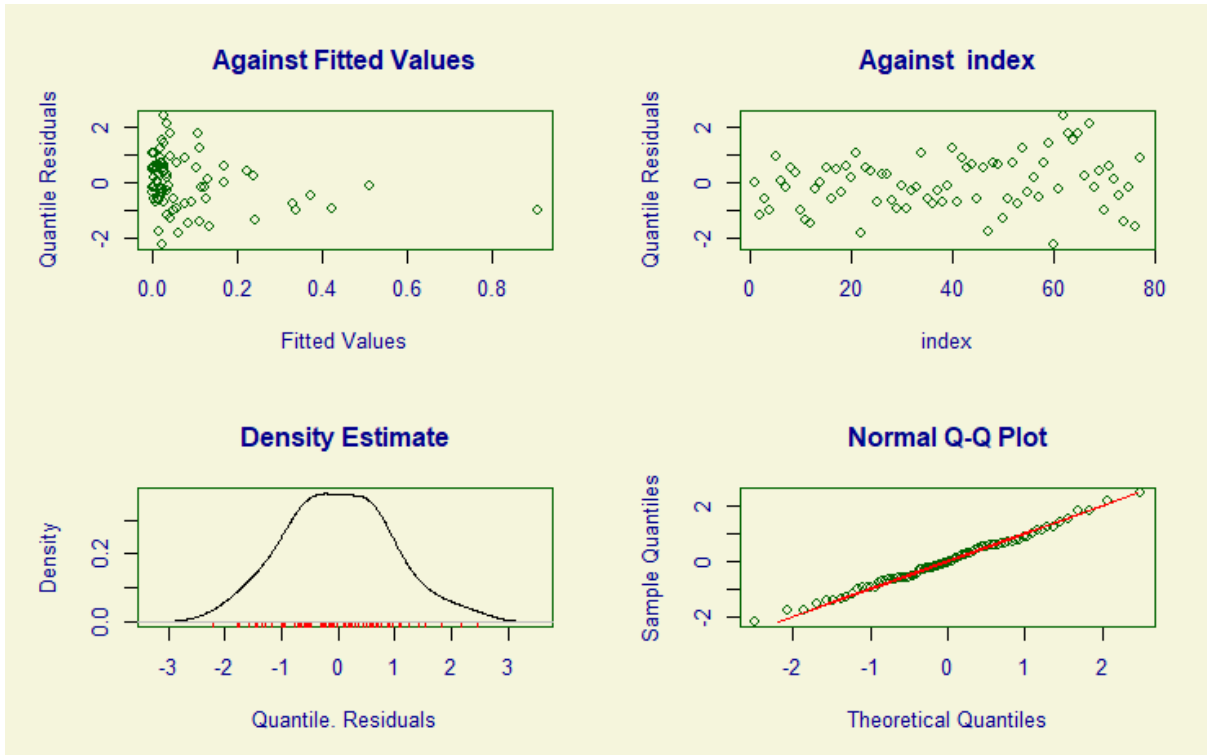


Figura B.55: Gráficos de diagnóstico referentes ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente Mirex.

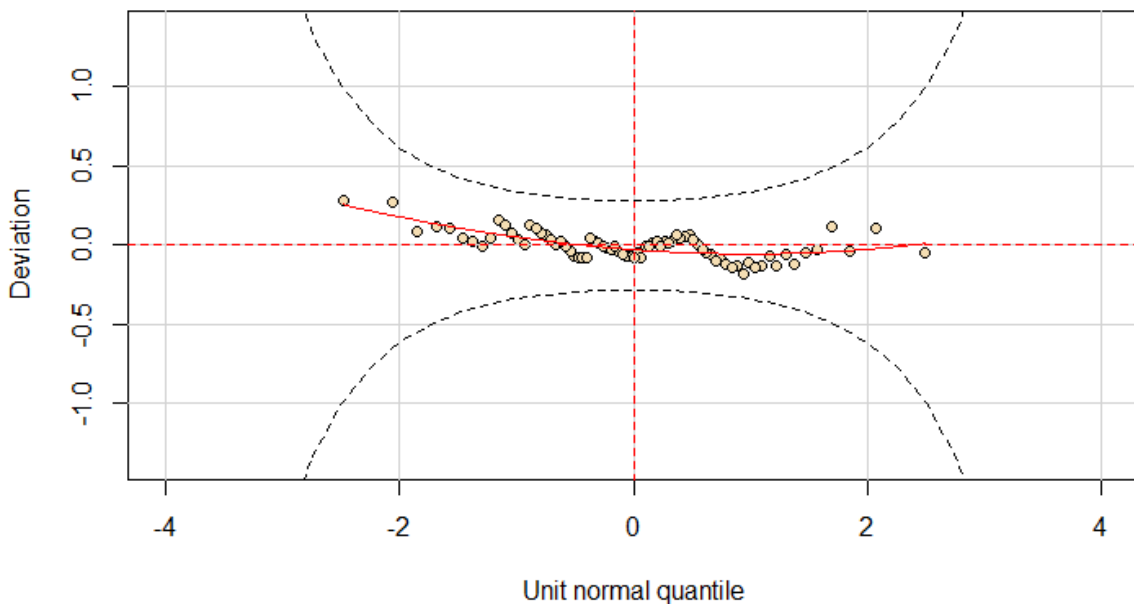


Figura B.56: Gráfico de minhoca (*worm plot*) referente ao modelo gama inflacionado no zero (ZAGA) ajustado aos dados sobre poluente Mirex.