

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DE
ECOSSISTEMAS COSTEIROS E MARINHOS
MESTRADO EM ECOLOGIA**

MARIA VALÉRIA DE SOUZA BARBOSA

**UTILIZAÇÃO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA NO APOIO A
INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS EM ENSAIOS
DE TOXICIDADE COM OURIÇO-DO-MAR**

**SANTOS/SP
2013**

MARIA VALÉRIA DE SOUZA BARBOSA

**UTILIZAÇÃO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA NO
APOIO A INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS EM ENSAIOS
DE TOXICIDADE COM OURIÇO-DO-MAR**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas Costeiros e Marinhos, sob orientação de: Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho e Prof. Dr. Augusto Cesar

SANTOS/SP

2013

Autorizo a reprodução, parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Barbosa, Maria Valéria de Souza.

Utilização da Lógica Paraconsistente Anotada no apoio a interpretação de resultados obtidos em Ensaio de Toxicidade com Ouriço-do-mar/ Maria Valéria de Souza Barbosa — 2013.

56 p.

Orientador: Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Augusto César.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília,

Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Santos, SP, 2013.

1. Ecotoxicologia. 2. Ensaio de Toxicidade 3. Lógica Paraconsistente. 4. Lógica Paraconsistente Anotada. I. Da Silva Filho, João Inácio, orient. II. Cesar, Augusto, coorient. III. Utilização da Lógica Paraconsistente Anotada no apoio a interpretação de resultados obtidos em Ensaio de Toxicidade com Ouriço-do-mar.

Elaborada pelo SIBI – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

À minha mãe, pela demonstração constante do seu amor incondicional.

Ao meu pai (in memoriam), pelo exemplo de competência.

Aos meus filhos, por serem a razão do meu viver.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero dirigir os meus agradecimentos ao meu orientador, o Professor Doutor João Inácio de Silva Filho, pela sua plena disponibilidade e paciência na brilhante orientação e constante acompanhamento dedicado durante a execução do trabalho e, especialmente, pela confiança em mim depositada ao assumir a orientação.

Agradeço também, ao meu segundo orientador, o Professor Doutor Augusto Cesar, pelos esclarecimentos necessários e preciosas contribuições, principalmente na área de Ecotoxicologia, para o sucesso do meu desempenho durante a pesquisa.

Aos Professores do Mestrado em Ecologia, pela gama de conhecimento que nos transmitiram, pelo constante apoio, incentivo e inspiração no enriquecimento dos conceitos teóricos e aplicações práticas.

Aos colegas de classe da 1ª turma do Mestrado em Ecologia da UNISANTA, pelo companheirismo e, principalmente ao Assis, Damin, Duarte, Leite, Nogueira Ramos e Zélia, pela força, amizade e carinho que compartilhamos durante as aulas e atividades do nosso curso.

Às secretárias da Pós-graduação, Sandra e Imaculada, por serem muito prestativas e atenciosas.

Um agradecimento especial à Universidade Santa Cecília que me proporcionou a oportunidade de uma ascensão na minha carreira de Professora.

Finalmente, agradeço à minha mãe, Ignez de Souza Barbosa, às minhas irmãs, Maria Verônica e Maria Valquíria e aos meus cunhados, Paulo e Ronaldo, pelo apoio e pela incondicional torcida com a qual sempre contei em todas as etapas da minha vida. E aos meus filhos, José Fernando e Juliana, pela compreensão nas situações em que precisei dividir a minha atenção entre vocês e o meu trabalho.

EPÍGRAFE

“A coisa mais bela que o homem pode experimentar é o mistério.
É esta a emoção fundamental que está na raiz de toda ciência e arte.

O homem que desconhece esse encanto,
incapaz de sentir admiração e estupefação,
esse já está, por assim dizer,
morto e tem os olhos extintos.”

Albert Einstein

RESUMO

Os ensaios de toxicidade constituem uma importante ferramenta de avaliação, controle e monitoramento ambiental e seus resultados proporcionam uma evidência direta das consequências da contaminação marinha. O ouriço-do-mar vem sendo amplamente empregado em ensaios de toxicidade para avaliar e caracterizar uma variedade de amostras, sejam efluentes urbanos ou industriais, como compostos químicos e amostras ambientais. Usualmente, as leituras dos dados referentes aos resultados dos ensaios de toxicidade requerem experiência e perspicácia do técnico responsável. Dessa forma, podem inferir certa subjetividade, fato que, em muitos casos, pode gerar resultados controversos, não produzir resultados que se apresentem de modo claro e conciso, capaz de oferecer um retrato fiel do processo ecológico. Neste trabalho, procura-se investigar novas formas de tratamento de dados resultantes de ensaios de toxicidade deste tipo, utilizando algoritmos baseados em Lógicas não-clássicas. Com base nos dados concretos, utilizam-se os algoritmos da Lógica Paraconsistente Anotada, visando encontrar procedimentos de monitoração que possam agregar melhor visualização, oferecendo maior índice de confiabilidade às análises através de programas computacionais. O presente estudo investigou novas formas de interpretação destes dados, fundamentados em aplicações de algoritmos, que utilizam fundamentos da estatística descritiva e da Lógica Paraconsistente. Com a aplicação conjunta desses procedimentos, foi possível estabelecer métricas e novas metodologias baseadas em processo algorítmico como alternativa para análise de dados obtidos de diferentes ensaios de toxicidade.

Palavras-Chave: 1. Ecotoxicologia; 2. Ensaio de toxicidade; 3. Lógica Paraconsistente; 4. Lógica Paraconsistente Anotada.

ABSTRACT

The toxicity tests are an important evaluation tool to environmental control and monitoring and its results provide direct evidence of the effects of marine pollution. The sea urchin has been widely used in toxicity tests to assess and characterize a variety of samples, whether municipal or industrial effluents, such as chemicals and environmental samples. Usually, the readings of the data relating to the results of toxicity tests require experience and technical acumen from the responsible technician, therefore, can infer certain subjectivity, the fact that in many cases, can generate conflicting results, not producing results that are presented in a clear and concise way, capable of offering an accurate picture of the ecological process. This work aims to investigate new forms of data treatment resulting from such toxicity tests using algorithms based on non-classical logics. Based on the concrete data are used algorithms Annotated Paraconsistent Logic, aiming to find monitoring procedures that can add improved visualization offering highest reliability to the analysis through computer programs.

The present study investigated new ways of interpretation these data based on applications of algorithms that use basic descriptive statistics and foundations of Paraconsistent logic. With the joint application of these procedures was possible to establish metrics and new methodologies based on algorithmic process as an alternative for the analysis of data obtained from different toxicity tests.

Keywords: 1. Ecotoxicology; 2. Toxicity tests; 3. Paraconsistent Logic; 4. Paraconsistent Annotated Logic.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Coordenadas e profundidades das estações de coleta.....	23
Tabela 2.	Resultados dos ensaios de toxicidade para sedimento elutriado.....	30
Tabela 3.	Resultados dos ensaios de toxicidade com ouriço-do-mar <i>L. variegatus</i> analisados através de métodos de lógica paraconsistente anotada.....	44
Tabela 4.	Grau de evidência resultante.....	45
Tabela 5.	Coordenadas e profundidades das estações de coleta da baía de <i>Portman</i>	51
Tabela 6.	Desenvolvimento embriolarval normal e anormal das réplicas das estações da baía de <i>Portman</i>	53
Tabela 7.	Resultados dos ensaios de toxicidade com ouriço-do-mar <i>Arbacia lixula</i> analisados através de métodos de lógica paraconsistente anotada.....	55
Tabela 8.	Grau de evidência resultante das estações da baía de <i>Portman</i>	55
Tabela 9.	Resultados dos ensaios de sensibilidade com ouriço-do-mar da espécie <i>Arbacia lixula</i> , usando cloreto de cádmio como substância de referência.....	61
Tabela 10.	Resultados dos ensaios de sensibilidade com ouriço-do-mar <i>Arbacia lixula</i> , usando cloreto de cádmio como substância de referência, analisados através de métodos de lógica paraconsistente anotada.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ouriço-do-mar <i>L. Variegatus</i>	25
Figura 2.	<i>Pluteus</i> , larva de ouriço do mar <i>L. Variegatus</i>	26
Figura 3.	Obtenção dos gametas através de choque elétrico.....	27
Figura 4.	Ovo com membrana de fecundação.....	28
Figura 5.	Leitura do estágio de desenvolvimento das larvas.....	29
Figura 6.	Larva anormal.....	29
Figura 7.	Gráfico da média e desvio padrão de desenvolvimento embriolarval normal e níveis (●)inicial e (▲)final de amônia não ionizada.....	31
Figura 8.	Reticulado representativo de Hasse.....	35
Figura 9.	Símbolo do NAP - Nó de Análise Paraconsistente.....	37
Figura 10.	Gráfico dos Graus de Evidência Resultantes das estações da Baixada Santista.....	45
Figura 11.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Vila Tupi.....	46
Figura 12.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Forte Itaipu.....	46
Figura 13.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Santos.....	47

Figura 14.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Guarujá.....	47
Figura 15.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação de Referência.....	48
Figura 16.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante do Controle.....	48
Figura 17.	Reticulado com os pontos dos Graus de Evidência Resultantes das estações da Baixada Santista.....	49
Figura 18.	Mapa das estações com a identificação dos valores do Grau de Evidência Resultante em cada ponto.....	50
Figura 19.	Empresa <i>Penyarroya</i> , efluente lançado no mar Mediterrâneo.....	52
Figura 20.	Gráfico dos testes de interface sedimento-água: comparação de porcentagem média de larvas desenvolvidas normalmente ($\pm$ erro padrão) de <i>A. lixula</i> nos diferentes pontos de amostragem.....	54
Figura 21.	Gráfico dos Graus de Evidência Resultantes das estações da baía de <i>Portman</i>	56
Figura 22.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação <i>Punta Espada</i>	56
Figura 23.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação <i>Punta Loma Larga</i>	57
Figura 24.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação <i>Canto da la Manceba</i>	57
Figura 25.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação <i>Cabo Negrete</i>	58
Figura 26.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante das estações <i>Punta Negra</i> e <i>Punta Galera</i>	58
Figura 27.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação <i>Isla del Fraile</i>	59
Figura 28.	Reticulado com os pontos dos Graus de Evidência Resultantes das estações da Baía de <i>Portman</i>	59
Figura 29.	Gráfico dos Graus de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço do mar <i>A. lixula</i> para cada uma das concentrações de cloreto de cádmio.....	62
Figura 30.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço do mar <i>A. Lixula</i> para concentração de controle de cloreto de cádmio.....	63
Figura 31.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar <i>A. Lixula</i> para concentração de 0,5 mg/l de cloreto de cádmio.....	63
Figura 32.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar <i>A. Lixula</i> para concentração de 0,8 mg/l de cloreto de cádmio.....	64
Figura 33.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar <i>A. Lixula</i> para concentração de 1,2 mg/l de cloreto de cádmio.....	64
Figura 34.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar <i>A. Lixula</i> para concentração de 1,8 mg/l de cloreto de cádmio.....	65
Figura 35.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar <i>A. Lixula</i> para concentração de	

	2,7 mg/l de cloreto de cádmio.....	65
Figura 36.	Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar <i>A. Lixula</i> para concentração de 4,1 mg/l de cloreto de cádmio.....	66
Figura 37.	Reticulado com os pontos dos Graus de Evidência Resultantes das concentrações de cloreto de cádmio.....	67
Figura 38.	Mapa das estações da baía de <i>Portman</i> com a identificação dos valores do grau de evidência resultante em cada ponto.....	68

LISTA DE SIGLAS

LP	Lógica Paraconsistente
LPA	Lógica Paraconsistente Anotada
LPA2v	Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores
QUPC	Quadrado Unitário do Plano Cartesiano

LISTA DE SÍMBOLOS

G_c	Grau de Certeza
G_{ct}	Grau de Contradição
λ	Grau de evidência desfavorável
μ	Grau de evidência favorável
μ_{er}	Grau de evidência resultante
T	Inconsistente
$T \rightarrow f$	Inconsistente, tendendo ao Falso
$\perp \rightarrow f$	Indeterminado, tendendo ao Falso
$\perp \rightarrow v$	Indeterminado, tendendo ao Verdadeiro
$\perp$	Paracompleto ou indeterminado
$Qf \rightarrow T$	Quase Falso, tendendo ao Inconsistente
$Qf \rightarrow \perp$	Quase Falso, tendendo ao Indeterminado
$Qv \rightarrow T$	Quase Verdadeiro, tendendo ao Inconsistente
$Qv \rightarrow \perp$	Quase Verdadeiro, tendendo ao Indeterminado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA	16
1.1.3 PROBLEMATIZAÇÃO	16
1.1.4 OBJETIVO DO TRABALHO	17
1.1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	17
1.2 ENSAIOS DE TOXICIDADE	19
1.2.1 POLUIÇÃO MARINHA	19
1.2.2 RELEVÂNCIA	21
1.2.3 TESTES COM OURIÇO-DO-MAR	22
1.2.3.1 ÁREA DE ESTUDO	22
1.2.3.2 COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS	22
1.2.3.3 TRATAMENTOS	23
1.2.3.3.1 SEDIMENTO ELUTRIATO	23
1.2.3.3.2 INTERFACE SEDIMENTO-ÁGUA (SWI)	23
1.2.3.4 ÁGUA DE DILUIÇÃO	24
1.2.3.5 ORGANISMO TESTE	24
1.2.3.6 OBTENÇÃO DOS ORGANISMOS TESTE	26
1.2.3.7 METODOLOGIA	26
1.2.3.7.1 OBTENÇÃO DOS GAMETAS	26
1.2.3.7.2 FECUNDAÇÃO	27
1.2.3.7.3 MONTAGEM DOS ENSAIOS	28
1.2.3.7.4 LEITURA DOS ENSAIOS	29
1.2.3.8 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	30
1.3 LÓGICA PARACONSISTENTE	31
1.3.1 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA	31
1.3.2 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE 2 VALORES LPA2V	32
1.3.3 O RETICULADO ASSOCIADO À LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA	32
1.3.3.1 O GRAU DE CERTEZA	33
1.3.3.2 O GRAU DE CONTRADIÇÃO	34
1.3.4 ALGORITMOS PARACONSISTENTES	35
1.3.4.1 TRATAMENTO PARACONSISTENTE DE DADOS ECOLÓGICOS	35
1.3.4.2 EXTRAÇÃO DO GRAU DE EVIDÊNCIA ATRAVÉS DE TABELAS	36
1.3.4.3 ALGORITMO DE ANÁLISE PARACONSISTENTE	36
1.3.4.4 ALGORITMO EXTRATOR DE EFEITOS DE CONTRADIÇÃO	38
2. MATERIAIS E MÉTODOS	39
2.1 MÉTODOS ESTATÍSTICOS	39
2.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	39
2.3 MÉTODOS DE ANÁLISES PARACONSISTENTES	39
2.4 MÉTODO DE ANÁLISE QUANTITATIVA ESTATÍSTICO PARACONSISTENTE	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42

3.1 ANÁLISES DO PRIMEIRO EXEMPLO.....	42
3.2 DISCUSSÃO DO PRIMEIRO EXEMPLO.....	49
3.3 ANÁLISES DO SEGUNDO EXEMPLO.....	50
3.3.1 AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DA POLUIÇÃO MARINHA DA BAÍA DE <i>PORTMAN</i>	50
3.3.2 SENSIBILIDADE DE OURIÇOS DO MAR MEDITERRÂNEO SUBSTÂNCIAS TÓXICAS DE REFERÊNCIA.....	60
3.4 DISCUSSÃO DO SEGUNDO EXEMPLO.....	67
3.4.1 AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DA POLUIÇÃO MARINHA DA BAÍA DE <i>PORTMAN</i>	67
3.4.2 SENSIBILIDADE DE OURIÇOS DO MAR MEDITERRÂNEO A SUBSTÂNCIAS TÓXICAS DE REFERÊNCIA.....	69
3.4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
4. CONCLUSÕES.....	71
4.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA LPA2v.....	72
4.2 TRABALHOS FUTUROS.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos ecossistemas costeiros e marinhos tem sido motivo de preocupação das autoridades públicas e de especialistas que estudam o meio ambiente. Essa degradação gradativa é bastante nociva e os impactos sobre tais ambientes atuam de modo muito agressivo ao ser humano necessitando da devida consideração para diminuir seus efeitos. Essa percepção ecológica tem motivado estudos com o objetivo de obter resultados que possam indicar o estágio de degradação desses ecossistemas e assim promover políticas públicas para que recursos sejam direcionados para conter e reverter as causas que conduzem ao comprometimento ambiental dessas regiões.

Para atuar de modo eficiente na concepção de leis que possam garantir essas ações, as políticas públicas devem se apoiar em um conjunto consistente de dados e análises que apontem, com clareza, o nível de degradação, os ecossistemas que devem merecer prioridade e aqueles que já estão suficientemente protegidos, necessitando de gestões diferenciadas.

Quando se faz uma rápida análise sobre a degradação do meio ambiente constata-se que a preocupação dos pesquisadores tem se concentrado em dar prioridade aos estudos que visam à proteção dos ecossistemas terrestres. Essa degradação que acontece nos ecossistemas terrestres é mais visível, no entanto os efeitos do uso equivocado e da ocupação desordenada das áreas marinhas provocam uma degradação sutil e menos perceptível nas zonas costeiras, mares e oceanos como um todo.

Segundo Pusceddu e Alegre (2005), a necessidade de se conhecer os efeitos dos xenobióticos sobre os ecossistemas marinhos tem levado ao desenvolvimento de diversos métodos destinados à avaliação dos efeitos biológicos da poluição. Esses métodos, em conjunto com análises químicas, têm sido utilizados em um número cada vez maior de estudos ambientais que surgiram da necessidade de se complementar a abordagem exclusiva sobre a contaminação química. Realizada através de análises químicas, leva a uma avaliação da poluição, dando ênfase aos efeitos biológicos.

Segundo Cesar *et al.* (2002), os ensaios de toxicidade vêm se consagrando como uma importante ferramenta de controle ambiental, que proporciona uma

evidência direta das frequências da contaminação, podendo ser utilizada para medir a toxicidade de misturas complexas de contaminantes, tanto em fase líquida como na fase sólida do sedimento.

As situações de inconsistências, de indefinições e de conhecimentos parciais surgem naturalmente na descrição do mundo real; apesar disso, o homem consegue raciocinar adequadamente, sendo que esse raciocínio não está sob a visão da lógica aristotélica, ou melhor, aquela visão em que qualquer afirmação que se faça sobre algo, ou é verdade ou é falsa.

Por exemplo, em sistemas de controle a base teórica de funcionamento é a lógica clássica, devido à estrutura binária desses sistemas (verdadeiro ou falso) a forma de se raciocinar deve ser feita com algumas simplificações como deixar de considerar fatos ou situações de inconsistência ou então resumir grosseiramente as mesmas, isso porque na sua descrição completa, trabalhando com apenas dois estados, o tempo torna-se consideravelmente longo (PEARL, 93).

Como as situações reais não se enquadram inteiramente nas formas binárias da lógica clássica, vários pesquisadores se esforçaram, no sentido de encontrar outras formas que permitissem enquadrar melhor outros conceitos como as indefinições, ambiguidades e inconsistências, com isso surgem às lógicas não - clássicas.

Essa necessidade leva ao aparecimento de uma lógica subjacente para os sistemas formais denominada lógica paraconsistente (DA COSTA, 93) edificada para se encontrar meios de dar tratamento não trivial às situações contraditórias. Os resultados de vários trabalhos e suas possíveis aplicações foram apresentados por (DA COSTA, 90), (ABE, 92) e (SUBRAHMANYAN, 87) entre outros. Essa lógica é a mais propícia no enquadramento de situações de contradições quando lidamos com descrições do mundo real.

1.1.1 JUSTIFICATIVA

Nos trabalhos publicados relacionados a ensaios de toxicidade, os resultados das análises são mostrados através de métodos estatísticos convencionais.

Neste trabalho, procura-se investigar novos procedimentos matemáticos que possam trazer resultados visuais e com características de análises intuitivas usando uma lógica não-clássica denominada de Paraconsistente Anotada (LPA). Em diversos trabalhos, a Lógica Paraconsistente Anotada se mostrou capaz de ser uma

excelente ferramenta para tratar convenientemente de dados, como os valores utilizados para alimentar os métodos estatísticos das análises nos ensaios de toxicidade. Considerando essa propriedade da LPA, neste trabalho, procura-se aplicar os algoritmos fundamentados em sua estrutura lógica para fazer uma análise quantitativa em resultados de coletas obtidas de métodos aplicados nos ensaios de toxicidade.

1.1.2 RELEVÂNCIA DO TEMA

Os ensaios de toxicidade constituem uma importante ferramenta para controle e monitoramento ambiental, proporcionando evidências diretas das frequências da contaminação.

Em estudos de poluição marinha, os ensaios de toxicidade utilizando o desenvolvimento embriolarval com ouriços-do-mar como organismos-teste vêm sendo amplamente empregados para caracterizar uma variedade de amostras, incluindo testes com elutriato, água intersticial, interface água-sedimento (CESAR *et al.*, 2004). Esses experimentos são aceitos internacionalmente como apropriados para testes de toxicidade (USEPA, 1995; *Environment* Canadá, 1992; CETESB, 1999; CESAR, 2003; ABNT, 2006).

Devido à sua complexidade na análise dos resultados, é importante que se apresente novas técnicas com algoritmos para que os testes possam ser inclusos em programas computacionais. Para isso, são utilizados na análise dos testes de toxicidade algoritmos fundamentados na Lógica Paraconsistente Anotada (LPA).

1.1.3 PROBLEMATIZAÇÃO

Em um processo de análise de dados, sendo este estatístico ou não, o aspecto mais básico e vital de um tratamento adequado a estes valores passa pela necessidade de se observar que tipo de dados o objeto de estudo permite que sejam coletados. Nem sempre essa é uma tarefa fácil, sendo primordial um bom planejamento para a coleta de dados e uma análise criteriosa das possibilidades do objeto de conhecimento.

Usualmente, as análises dos ensaios de toxicidade utilizam um tratamento estatístico para análise de dados obtidos (CESAR *et al.*, 2004). Essas primeiras considerações sobre o processo ecológico, de onde serão extraídos os dados representativos de informação, geram dados sustentados por informações visuais de

difícil interpretação que podem prejudicar o encontro de padrões comparativos e comprometer o processo de análise. Devido a essas possíveis incertezas, atualmente, muitos métodos de análises são efetuados de modo algorítmico, o que permite que os dados sejam tratados por programas computacionais desde a sua origem.

O fator gerador de dificuldades para se obter tratamentos estatísticos confiáveis está relacionado à própria natureza dos dados extraídos desses processos ecológicos, que apresentam, na maioria das vezes, grande variabilidade biológica. Portanto, o método proposto neste trabalho, para análise e tratamento computacional e interpretação dos resultados, tem como base os conceitos que fundamentam a Lógica Paraconsistente (LP). O tratamento de dados, através dos fundamentos da Lógica Paraconsistente, pode se destacar como mais um processo importante para a obtenção de resultados confiáveis para subsidiar a interpretação dos resultados provenientes de ensaios de toxicidade.

1.1.4 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho tem como objetivo principal propor novas formas de tratamento dos dados originados em ensaios de toxicidade, proporcionando um outro instrumento de apoio para tratamento dos resultados de tais experimentos.

Como objetivo secundário, foram investigados os métodos de leitura e a variabilidade dos resultados, com a finalidade de aplicar os algoritmos da Lógica Paraconsistente Anotada, interpretando visualmente os resultados encontrados com os ensaios de toxicidade, permitindo que os mesmos possam ser ligados a processos computacionais através de outros mecanismos, que não sejam os da Lógica clássica.

1.1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

Neste capítulo 1, está a introdução, onde foram discutidos e apresentados sucintamente os principais itens ligados a esta pesquisa, como, a problematização da toxicidade em sistemas marinhos e os objetivos que norteiam esse estudo.

No item 1.2, são apresentados a relevância dos ensaios de toxicidade, os problemas da poluição marinha e as técnicas dos ensaios de toxicidade, utilizando ouriço-do-mar (*Lytechinus variegatus*) como organismo teste. Também nesse

capítulo, são mostradas as formas de representação dos resultados das análises e como são disponibilizados os dados quantitativos que geram as informações por meio de processos estatísticos.

No item 1.3, é feita uma apresentação sucinta dos fundamentos principais da Lógica Paraconsistente Anotada – LPA. Também nesse item 1.3, é apresentado o Algoritmo Estatístico/Paraconsistente que será utilizado na análise dos dados obtidos pela metodologia dos ensaios de toxicidade utilizando ouriço-do-mar (*Lytechinus variegatus* e *Arbacia lixula*) como organismo teste.

No capítulo 2, são apresentados os métodos estatísticos, o método de análise paraconsistente e o método de análise quantitativa estatístico paraconsistente.

No capítulo 3, estão as aplicações da técnica de análise paraconsistente em que são mostrados os resultados obtidos pelo processo estatístico paraconsistente a partir de dados de uma fonte secundária extraídos de uma análise real em dois exemplos. O primeiro é uma avaliação da toxicidade dos sedimentos provenientes das áreas de descarte dos emissários submarinos de Praia Grande, São Vicente, Santos e Guarujá, através de testes crônicos de curta duração com ouriço-do-mar *Lytechinus variegatus*, empregando tratamento sedimento elutriado. O segundo é uma avaliação ecotoxicológica da poluição marinha da Baía de Portman através da metodologia dos ensaios de toxicidade utilizando ouriço-do-mar da espécie *Arbacia lixula* como organismo teste, adotando o tratamento interface sedimento-água. Nesse capítulo 3, ainda são discutidos os resultados obtidos com o método algorítmico estatístico/paraconsistente e feitas considerações pertinentes a melhorias futuras para esse tipo de análise.

No capítulo 4, são apresentadas as conclusões, são destacadas as principais relevâncias e contribuições da pesquisa, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

1.2 ENSAIOS DE TOXICIDADE

Um ensaio de toxicidade aquática é um procedimento no qual as respostas dos organismos aquáticos são usadas para detectar e medir os efeitos de uma ou mais substâncias, resíduos, ou fatores ambientais, sozinhos ou em combinação, durante um determinado tempo. Com essas respostas, pode-se estimar, através de métodos estatísticos, a concentração dessas substâncias, que certamente poderão causar toxicidade aos organismos representantes dos corpos receptores. Assim, a toxicidade característica inerente de uma substância ou mistura de substâncias químicas se evidencia sobre os organismos vivos e torna-se a única variável a ser controlada.

Os estudos ecotoxicológicos fornecem os elementos que representam a base para o desenvolvimento dos ensaios de toxicidade, levando-se em conta que nem todos os efeitos biológicos observados nos organismos vivos podem ser utilizados com um objetivo prático, pois, para que isso aconteça, torna-se necessário que os efeitos observados tenham um significado ecológico bem definido. Sendo assim, para detecção e controle da toxicidade de efluentes industriais é importante que os testes de toxicidade sejam bem estabelecidos e padronizados, a fim de se obter uma boa reprodutibilidade dos resultados, independentemente da amostra e do laboratório responsável pela realização do mesmo.

Dependendo da sua composição química, alguns efluentes são mais tóxicos a um determinado organismo-teste, por exemplo, alguns efluentes podem ser mais tóxicos para microcrustáceos do que para peixes, ou vice-versa. Sendo assim, é recomendado sempre que possível, avaliar o efeito de um determinado efluente, no mínimo com três organismos, representantes de diferentes níveis tróficos, para se estabelecer qual o organismo mais sensível e assim, estimar com maior segurança, o impacto desse efluente num corpo receptor.

1.2.1 POLUIÇÃO MARINHA

Estimativas das Nações Unidas preveem que a população mundial, hoje com cerca de 7 bilhões de habitantes, atingirá cerca de 8 bilhões por volta de 2026. Nessa projeção, 35% desse aumento é previsto para a América Latina. Considerando-se que 60% da população já vive em centros urbanos na costa ou a

menos de 60Km de distância do litoral, essa estimativa poderá representar pesado aumento da carga poluidora sobre as águas costeiras. Por outro lado o crescimento acelerado da população mundial já está sendo acompanhado, em proporções semelhantes, da utilização de xenobióticos e da degradação da qualidade das águas (NASCIMENTO *et al.*, 2002).

A poluição marinha ocorre porque tanto os mares quanto os oceanos recebem diariamente, em todo o mundo, uma infinidade de poluentes, como esgoto doméstico, industriais, lixo sólido, que são levados pelos rios que deságuam no mar. Estimativas revelam que cerca de 14 bilhões de toneladas de lixo são acumuladas nos oceanos todos os anos.

Outras práticas que contribuem para a poluição marinha são os navios petroleiros e os oleodutos, pois podem causar contaminação das águas quando ocorrem vazamentos ou quando os tanques dos navios são lavados, já que a água suja com petróleo é jogada no mar.

Também contribuem para poluição marinha as obras de dragagem, que objetivam remover os sedimentos que se encontram no fundo do corpo da água para permitir a passagem das embarcações, garantindo acesso ao porto de navios de grande porte. Na maioria das vezes, a dragagem é necessária, quando da implantação do porto para o aumento da profundidade natural do canal de navegação, no cais de atracação e na bacia de evolução. Também é necessária sua realização periodicamente para alcançar as profundidades que atendam o calado das embarcações. Devido a isso uma quantidade de substâncias lançadas nos oceanos produz o aparecimento de organismos que prejudicam o desenvolvimento da vida marinha e também comprometem o percentual de alimentos.

Esse elevado nível de concentração de substâncias compromete a produção de oxigênio e de plânctons, que são responsáveis por produzir cerca de 40% do nosso oxigênio. Embora os oceanos tenham a capacidade de se regenerar, a quantidade é tão grande, que fica praticamente impossível haver uma recomposição, pois muito dos detritos lançados não são biodegradáveis.

É importante salientar que os oceanos não são separados, isso significa que as poluições estão “globalizadas”, assim como os impactos.

A cidade de Santos, situada no litoral do Estado de São Paulo possui o maior porto da América Latina. O gradativo aumento das fontes potenciais de poluição no seu sistema estuarino elevou os níveis de poluição a valores indesejáveis.

1.2.2 RELEVÂNCIA

Para o acompanhamento e monitoramento dos níveis de contaminação dos sistemas marinhos é desaconselhável a utilização somente de análises químicas que expressam seus resultados apenas qualificando e quantificando as concentrações dessas substâncias. Para a avaliação de riscos, monitoramento e gestão ambiental, é fundamental o uso de técnicas que avaliem o efeito biológico desses contaminantes. Em resposta à necessidade de se conhecer o destino e o efeito dessas substâncias no ambiente aquático, surgiu a Ecotoxicologia, que se fundamenta na grande capacidade que os próprios organismos possuem ao reagir à presença dos contaminantes. A finalidade dessa ciência é avaliar os efeitos das substâncias tóxicas nos ecossistemas, visando primordialmente a sua proteção como um todo e não apenas dos componentes isolados (HARRIS *et al.*, 1990). Através desses testes é possível monitorar a qualidade de um despejo existente ou do corpo hídrico receptor, geralmente avaliando a mortalidade em períodos de 48 a 96 horas, ou ainda de testes crônicos, abrangendo todo o ciclo vital ou parte dele. O monitoramento ambiental, incluindo avaliações ecotoxicológicas, auxilia o gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que fornece informações a respeito dos impactos causados pela poluição e fornece subsídios para avaliar a eficiência das medidas adotadas que visam à eliminação ou redução dos efeitos no ambiente.

De acordo com Rand & Petroceli (1985), o grande objetivo dos esforços científicos em Toxicologia Aquática se concentrou na caracterização de efeitos tóxicos na coluna d'água resultantes da contaminação de origem terrestre. Hoje em dia existe um crescente reconhecimento de que a contaminação localizada em sedimentos pode apresentar efeitos adversos significativos nos ecossistemas aquáticos, com impactos na estrutura das comunidades bentônicas, sendo os efeitos associados à água superficial da interface sedimento-água (ANDERSON, 2001).

Adams *et al.* (1985) mencionam que a proteção da qualidade dos sedimentos tem sido vista como uma extensão da qualidade da água, uma vez que além de sua importância como habitat para diversos organismos aquáticos, também pode ser o maior depósito de vários agentes químicos persistentes introduzidos no ambiente. Além disso, estudos geoquímicos, no campo ou laboratório, têm mostrado que o sedimento apresenta potencial de formar associações com várias classes de poluentes antropogênicos (PRUELL & QUINN, 1985).

Segundo Swartz (1982), sedimentos podem acumular contaminantes em concentrações bem maiores do que a coluna d'água, produzindo dessa forma efeitos nocivos sobre a comunidade bentônica e também a organismos que se alimentam do bentos ou sedimento. Devido a essa importância ecológica e à persistência dos contaminantes neste compartimento, o sedimento é mais adequado para o monitoramento e avaliação ambiental.

Diferentes abordagens podem ser usadas para a avaliação da qualidade do sedimento. Entre elas, análises químicas, análise da comunidade bentônica e ensaios de toxicidade, que são os mais comuns utilizados mundialmente. Os ensaios de toxicidade são considerados ferramentas efetivas para prover direta e confiável evidência de consequências biológicas da contaminação, e pode ser usado para estimar a interação do efeito tóxico de contaminantes complexo misturados no ambiente aquático (BURTON, 1992).

1.2.3 TESTES COM OURIÇO-DO-MAR

1.2.3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo aqui apresentado foi conduzido no período de março a agosto de 2006 por Morais (2006), a partir dos sedimentos coletados em quatro pontos localizados nas áreas de influência dos emissários submarinos dos Municípios de Praia Grande (estações 1 e 2), Santos (estação 3) e Guarujá (estação 4), e uma estação referência localizada próximo ao Monte Pascal no município de Bertioga.

1.2.3.2 COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS

O sedimento foi coletado utilizando-se de um pegador de fundo do tipo *Van Veen* de área 0.05 m². Para cada ponto, foram realizadas duas pegadas de sedimento destinadas às análises ecotoxicológicas. A localização exata das estações de coleta foram definidas com o auxílio de um aparelho GPS (*“Global Positioning System”*) e as profundidades foram obtidas utilizando um ecobatímetro. As localizações geográficas e profundidades das estações estão descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas e profundidades das estações de coleta.

Estação	Latitude	Longitude	Prof. (m)
1	24° 03,15' S	46°26,90' W	13,0
2	24° 02,70' S	46°24,40' W	13,5
3	24°00,14' S	46°21,08' W	12,2
4	24°01,70' S	46°13,43' W	15,5
Referência	23°52,03' S	46°00,32' W	15,0

Fonte: MORAIS (2006)

Após a coleta os sedimentos destinados às análises ecotoxicológicas foram acondicionados em sacos plásticos limpos e, devidamente identificados, armazenados em caixas térmicas com gelo em temperaturas em torno de 4 °C até a chegada ao laboratório, onde foram armazenadas em refrigeradores com temperatura constante de 4 °C , livre de iluminação, por não mais que 2 semanas.

1.2.3.3 TRATAMENTOS

1.2.3.3.1 SEDIMENTO ELUTRIATO

Elutriato é definido como um processo de homogeneização entre um certo volume de sedimento e um volume de diluente (1/4) por um determinado período de tempo. E após essa homogeneização, ele é separado e, a parte aquosa é submetida aos ensaios de toxicidade. Para isso, uma alíquota de 150 g de sedimento de cada amostra foi homogeneizada por 30 minutos com 700 ml de água de diluição marinha filtrada, utilizando agitador Turbo-Floc/2c de marca Policontrol com velocidade constante de 105 rpm. Após agitação, as amostras permaneceram em repouso por 24 h e posteriormente, foram sifonados 10 ml do sobrenadante, e adicionados a cada réplica do ensaio, conforme (ABNT NBR 15350, 2006; USEPA, 2003).

1.2.3.3.2 INTERFACE SEDIMENTO-ÁGUA (SWI)

Para o tratamento interface sedimento-água foram adicionados 2ml do sedimento a cada réplica, utilizando uma seringa de 5ml, que foi trocada a cada nova amostra, em cima do sedimento foi colocado uma rede de plâncton (45 µm)

fixada por um anel plástico, e então adicionado 8ml de água de diluição marinha a cada réplica utilizando-se de uma pipeta automática conforme (CESAR *et al.*, 2004).

1.2.3.4 ÁGUA DE DILUIÇÃO

A água de diluição é a água utilizada como controle, no preparo das soluções-teste e manutenção dos organismos. As amostras de água de diluição foram coletadas na Ilha das Palmas, mesmo local onde foram coletados os organismos teste, conforme citado anteriormente. As coletas foram feitas através de mergulho livre com dois galões de plástico cada um com capacidade para um volume de 50 litros.

No laboratório, as amostras foram filtradas com papel de filtro com porosidade de 3 µm e mantidas sob aeração constante até o momento dos testes.

1.2.3.5 ORGANISMO TESTE

***Lytechinus variegatus* Lamarck, 1816 (*Echinodermata Echinoidea*)**

Pertencente à família *Toxopneustidae*, possui carapaça esverdeada e achatada inferiormente, e espinhos de cor variando desde verde até púrpura arroxeado (Figura 1). Esta espécie alimenta-se de macroalgas, vive em locais onde estas são abundantes e possui o hábito de recobrir-se de detritos vegetais, pequenas conchas etc. Os organismos podem ser encontrados desde a zona entre marés até cerca de 20 m de profundidade. É bastante comum na região do Caribe e na costa atlântica da América do Sul, ocorrendo desde a Carolina do Norte (EUA) até a costa sudeste do Brasil (ABNT NBR 15350, 2006). Mostra uma grande tendência de agregação, principalmente quando os animais estão em época de desova, apesar de que indivíduos imaturos também se agregam (MOORE, *et al. apud* RACHID, 1996). Uma característica interessante desta espécie é a colocação de conchas, algas e outros detritos sobre a superfície do seu corpo. Foi verificado que esse recobrimento está relacionado com a preservação de determinados pigmentos sensíveis ao excesso de luz (GIORDANO, 1986; MOORE *et al.*, 1963 *apud* RACHID, 1996). É descrito como uma espécie fértil no verão, tendo a desova completa em junho e julho nas Bermudas; de abril a agosto na Flórida (Moore *et al.*, 1963 *apud* Rachid, 1996). Apresentam também uma marcada desova sincronizada quando agrupados. Em geral, a eliminação dos óvulos depende da presença de esperma da mesma espécie na água (BOOLOOTIAN, 1966 *apud* RACHID, 1996).

Pouco se conhece a respeito das larvas de equinóides, mas sabe-se que em relação à luminosidade, tendem ao fototropismo positivo, comportando-se portanto, contrário ao adulto. Tanto a blástula, como a gástrula e a larva *pluteus* são livre natantes, utilizando-se de cílios para tal. Em poucas horas a gástrula alonga-se, transformando-se na larva *pluteus* (Figura 2), que passa a alimentar-se do microplancton (BOOLOOTIAN, op. cit. *apud* RACHID, 1996).

Várias foram as razões que levaram a escolha da espécie *L. Variegatus* para a utilização nos testes de toxicidade. Entre elas podemos citar:

- A notada sensibilidade de seus gametas e embriões;
- Sua ampla distribuição;
- A grande abundância em nossa costa;
- A fácil obtenção, por mergulho livre;
- O fato de se apresentarem férteis o ano todo no estado de São Paulo;
- A facilidade de se obter grandes quantidades de gametas;
- A facilidade de se promover a fertilização;
- O seu rápido desenvolvimento;
- A boa reprodutibilidade dos testes;
- A clareza na resposta ao agente tóxico;
- E uma clara observação ao microscópio, da morfologia do seu desenvolvimento.



Figura 1 – Ouriço-do-mar *L. Variegatus*.
Fonte: MORAIS (2006)

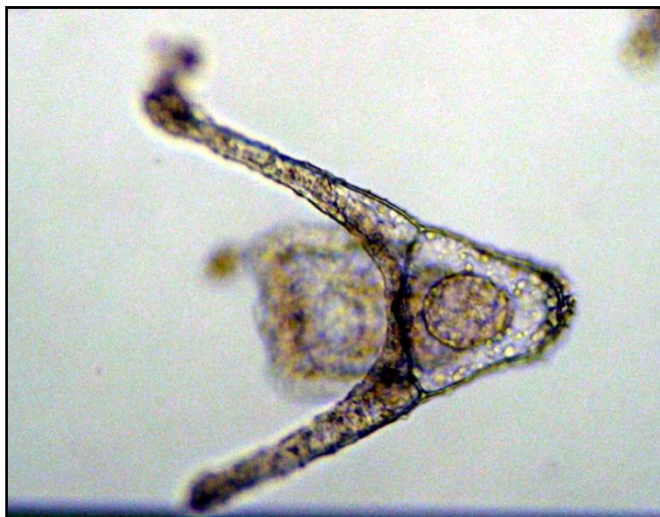


Figura 2 – *Pluteus*, larva de ouriço-do-mar *L. Variegatus*.
Fonte: MORAIS (2006)

1.2.3.6 OBTENÇÃO DOS ORGANISMOS TESTE

Ouriços-do-mar adultos da espécie *Lytechinus variegatus* (LAMARCK, 1816), foram coletados por meio de mergulho livre, na Ilha das Palmas na Cidade de Santos (São Paulo). Após a coleta, os ouriços foram cobertos com macro algas *Ulva sp*, coletadas no mesmo local, mantidos em temperatura constante e transportados imediatamente para o laboratório. No laboratório foram mantidos em aquário, com circulação e filtração de água marinha. Recebendo diariamente como alimento, macro algas *Ulva sp*, provenientes do mesmo local onde foram coletados os ouriços-do-mar. Para este teste foram coletados aproximadamente 20 organismos, que foram devolvidos ao local após o término dos testes.

1.2.3.7 METODOLOGIA

A metodologia descrita a seguir foi adaptada de ABNT NBR 15350 (2006), Cesar (2004), Cesar (2006) e, Anderson (2001). Os experimentos aqui descritos foram realizados no Departamento de Ecotoxicologia Professor CAETANO BELLIBONI, na Universidade Santa Cecília em Santos, São Paulo, durante o período de março de 2006.

1.2.3.7.1 OBTENÇÃO DOS GAMETAS

Machos e fêmeas adultos de ouriço-do-mar (mínimo três de cada), foram estimulados a liberação de gametas com leve choque elétrico (35 V) (Figura 3). Os gametas foram coletados separadamente. Os óvulos, caracterizados pela coloração

amarelo alaranjado, foram coletados utilizando-se de um *becker* de 400 ml contendo água de diluição marinha, o *becker* tinha o diâmetro menor que o do ouriço para que o mesmo pudesse permanecer apoiado no *becker*, com a face aboral voltada para baixo. Uma subamostra dos óvulos de cada fêmea foi observada ao microscópio, a fim de confirmar seu formato e tamanho que devem ser redondos, lisos e de tamanho homogêneo. Os lotes que continham óvulos envelhecidos, e portanto inviáveis foram descartados.

Separados os lotes viáveis, foram reunidos em um recipiente. Após a sedimentação dos óvulos, foi descartado o sobrenadante e filtrado através de malha de aproximadamente 350 μ m. Foi acrescentada água marinha de diluição, elevando-se assim, o volume para 600 ml. Esse processo de lavagem dos óvulos foi repetido por três vezes. Os espermatozoides de coloração branca foram coletados diretamente dos gonóporos, utilizando-se uma micropipeta e depois mantidos em um *becker* com gelo até a fertilização.



Figura 3 – Obtenção dos gametas através de choque elétrico.
Fonte: MORAIS (2006)

1.2.3.7.2 FECUNDAÇÃO

Uma solução de espermatozoide foi preparada utilizando 1 a 2 ml de espermatozoide e 25 ml de água de diluição marinha, misturando-se bem para dissolução dos grumos. Para a fecundação, foram acrescentados 1 a 2 ml da solução de espermatozoide ao recipiente contendo os óvulos, sempre mantendo uma leve agitação, para que houvesse a fecundação dos óvulos. Foram tomadas três subamostras de 1 ml para contagem em câmara de *Sedgwick-Rafter*, para contagem de ovos identificáveis

pela membrana de fecundação à sua volta (Figura 4), onde foram observados mais de 80% de fecundação em cada amostra. Calculada a média entre as três subamostras, foi calculado o volume da solução que contivesse 300 ovos. Esse volume foi acrescentado aos recipientes teste utilizando-se uma pipeta automática, não ultrapassando 1% do volume da solução teste.

Para sedimento elutriado e interface sedimento água, foram utilizadas quatro réplicas para cada amostra sendo que para água de diluição utilizaram-se dez réplicas. A duração do experimento foi de 28 horas, conforme ABNT NBR 15350 (2006).



Figura 4 – Ovo com membrana de fecundação.
Fonte: MORAIS (2006)

1.2.3.7.3 MONTAGEM DOS ENSAIOS

Os ensaios foram conduzidos em tubos de ensaio de 10 ml e, para cada estação, foram montadas 4 réplicas tanto para a manipulação do sedimento elutriado quanto para a Interface sedimento água. Em cada réplica, foram adicionados cerca de 300 ovos de ouriço-do-mar *L. Variegatus*, o conjunto foi mantido sob temperatura constante de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12h/12h, com auxílio de câmara incubadora. Após cerca de 24 h, os experimentos foram finalizados e os embriões fixados pela adição de 0,5 ml de formaldeído aos frascos testes. Além disso, foi calculada a concentração de inibição a 50% dos organismos teste, CI50-24horas, para a substância de referência (sulfato de zinco), que estavam dentro dos limites estipulados pela Carta Controle de Sensibilidade de Organismos (Documento Interno do Departamento de Ecotoxicologia – UNISANTA).

1.2.3.7.4 LEITURA DOS ENSAIOS

Segundo Norma ABNT NBR 15350 (2006), o encerramento dos testes deve ser realizado após 24 a 28 h, quando pelo menos 80% dos organismos no controle atingirem o estágio de *pluteus* bem desenvolvido, com braços de comprimento no mínimo igual ao comprimento da larva. Isto é verificado com a leitura do estágio de desenvolvimento dos 100 primeiros organismos de uma das réplicas adicionais do controle (Figura 5). Nesse ensaio de toxicidade são avaliados os embriões e as larvas que conseguem desenvolver-se normalmente, as que apresentam algum retardamento no seu desenvolvimento, e os que apresentam alguma anomalia (Figura 6). Para tanto foi anotado o número de larvas normais bem como o número de larvas mal formadas ou com desenvolvimento retardado, portanto afetadas pela toxicidade da amostra.



Figura 5 – Leitura do estágio de desenvolvimento das larvas.
Fonte: MORAIS (2006)



Figura 6 – Larva anormal.
Fonte: MORAIS (2006)

1.2.3.8 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios ecotoxicológicos mostraram significativa diferença das estações 1 (Vila Tupi) e 2 (Forte Itaipu) em relação à estação 5 (referência), e podem ser observados na tabela 2 e no gráfico 1.

Tabela 2 – Resultados dos testes de toxicidade para sedimento elutriado.

Estação	Réplicas					
	Desenvolvimento embriolarval normal de <i>L. variegatus</i> %					
	R1	R2	R3	R4	Média	Dif. Sig.
Vila Tupi	35	53	70	76	66.5	*
Forte Itaipu	63	67	68	69	67	*
Santos	92	82	91	98	91	
Guarujá	90	86	90	86	88	
Referência	88	81	75	85	82	
Controle	96	91	93	90	92.5	

Obs: Outliers assinalados em cinza não foram incluídos no cálculo das médias.
Fonte: **MORAIS (2006)**.

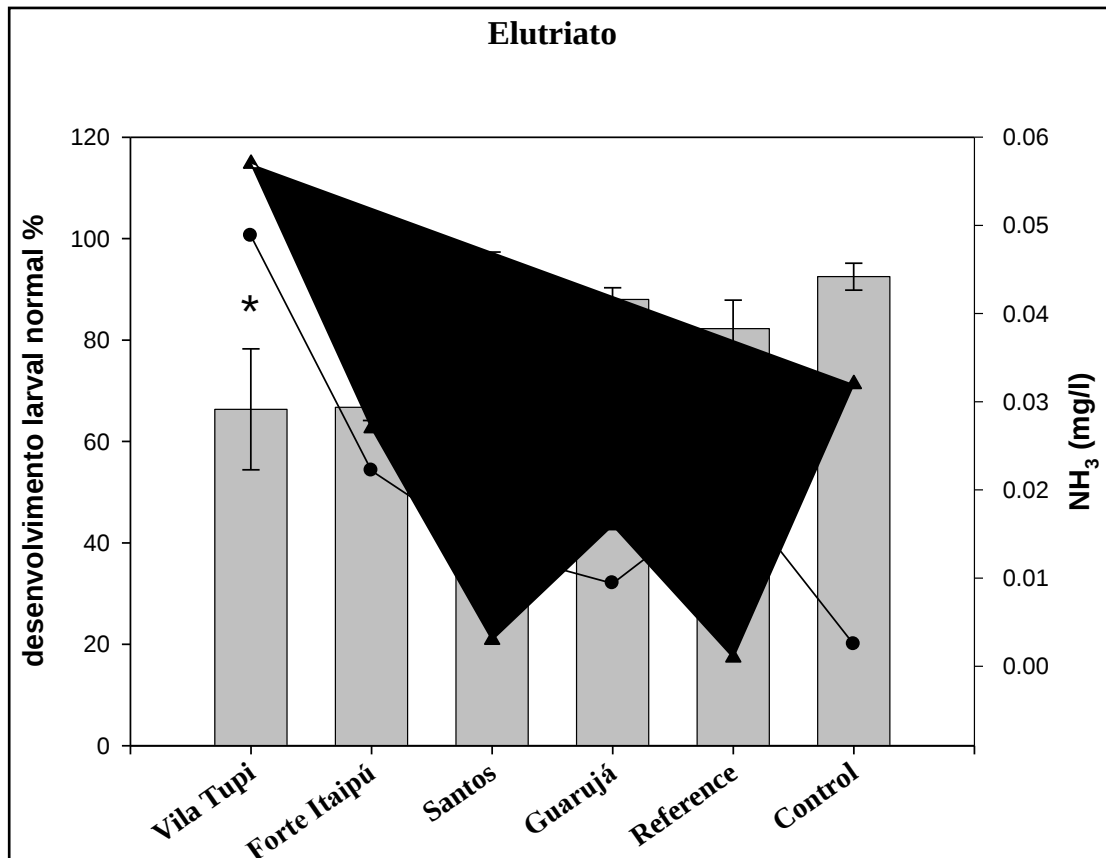


Figura 7 – Gráfico da média e desvio padrão de desenvolvimento embriolarval normal e níveis (●)inicial e (▲)final de amônia não ionizada, * diferença significativa ($p < 0,05$) em relação a referência.

Fonte: MORAIS (2006)

1.3. LÓGICA PARACONSISTENTE

A Lógica Paraconsistente apresenta em sua estrutura teórica a propriedade de suportar contradição sem que o efeito dos conflitos ou inconsistências inutilize as conclusões. Estudos recentes apresentam diversas famílias de lógicas paraconsistentes que desafiam os rígidos princípios binários da lógica clássica (DA SILVA FILHO, 2011).

1.3.1 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA – LPA

Neste trabalho, é utilizado é um tipo de lógica paraconsistente denominada de Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) cujos algoritmos têm-se mostrado eficientes nas análises e interpretação de dados originados de base de conhecimento incerto (DA SILVA FILHO, 2010).

Neste trabalho, para oferecer um melhor tratamento aos dados ecológicos pertinentes à poluição marinha é feita a união dos métodos estatísticos convencionais com os algoritmos da LPA2v. A união das duas técnicas tem o objetivo da elaboração de uma métrica que possa reproduzir resultados claros e com maior confiabilidade. Dessa forma, criou-se um método Paraestatístico Descritivo que inicialmente utiliza os procedimentos estatísticos usuais da Estatística Descritiva para extrair e modelar graus de evidência. Estes graus de evidência, após serem convenientemente tratados, são então considerados sinais de informação para a análise paraconsistente efetuada através da LPA2v (DA SILVA FILHO *et al.*, 2011).

1.3.2 LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA COM ANOTAÇÃO DE 2 VALORES LPA2V

Conforme visto em Da Silva Filho *et al.* (2011), as Lógicas Paraconsistentes são consideradas lógicas não-clássicas e possuem como característica principal a aceitação da contradição em sua estrutura teórica. Dentre as denominadas lógicas paraconsistentes, existem as classes de Lógicas Paraconsistentes Anotadas (LPA), que possuem um reticulado associado e foram introduzidas, pela primeira vez em programação lógica em Subrahmanian (1985).

Os métodos de tratamento de incerteza, aqui apresentados, utilizam os fundamentos de uma extensão da Lógica Paraconsistente Anotada, denominada de Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v), que foi primeiramente apresentada em Da Silva Filho (1999).

1.3.3 O RETICULADO ASSOCIADO À LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA

Na Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) as fórmulas proposicionais vêm acompanhadas de anotações. Cada anotação, pertencente a um reticulado finito τ , atribui valores à sua correspondente fórmula proposicionais ou proposição P . Para obter um maior poder de representação, é utilizado um reticulado formado por pares ordenados (ABE, 2001), tal que:

$$\tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathbb{R}\}$$

É fixado um operador: $|\tau| \rightarrow |\tau|$, onde o operador constitui o “significado” do símbolo lógico de negação do sistema que será considerado.

Se P é uma fórmula básica, o operador: $|\tau| \rightarrow |\tau|$ é definido como: $[(\mu, \lambda)] = (\lambda, \mu)$ onde, $\mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathfrak{R}$.

Considera-se então: (μ, λ) : Uma Anotação de P onde: $P_{(\mu, \lambda)}$ é um Sinal Lógico Paraconsistente (DA SILVA FILHO *et al.* 2009). Neste caso, os Graus de Evidência favorável μ e desfavorável λ compõem uma Anotação que atribui uma conotação lógica à Proposição P . Desse modo, a associação de uma anotação (μ, λ) a uma proposição P significa que o *Grau de Evidência* favorável em P é μ , enquanto que o *Grau de Evidência* desfavorável, ou contrária, é λ .

Intuitivamente, em tal Reticulado, tem-se:

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(1, 0)}$: indicando ‘existência de evidência favorável total e evidência desfavorável nula’, atribuindo uma conotação de *Verdade* à proposição.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(0, 1)}$: indicando ‘existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável total’, atribuindo uma conotação de *Falsidade* à proposição.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(1, 1)}$: indicando ‘existência de evidência favorável total e evidência desfavorável total’ atribuindo uma conotação de *Inconsistência* à proposição.

$P_{(\mu, \lambda)} = P_{(0, 0)}$: indicando ‘existência de evidência favorável nula e evidência desfavorável nula’, atribuindo uma conotação de *Indeterminação* à proposição.

Por meio de transformações lineares em um quadrado unitário no plano cartesiano e o Reticulado τ representativo da LPA, pode-se chegar à transformação:

$$T(X, Y) = (x - y, x + y - 1)$$

1.3.3.1 O GRAU DE CERTEZA

Relacionando os componentes da transformação $T(X, Y)$ conforme a nomenclatura usual da LPA2v, onde:

$x = \mu \rightarrow$ Grau de Evidência favorável e

$y = \lambda \rightarrow$ Grau de Evidência desfavorável, vem que:

do primeiro termo obtido no par ordenado da equação da transformação fica:

$x - y = \mu - \lambda \rightarrow$ o qual denominamos de Grau de certeza (G_C). Portanto, o Grau de certeza é obtido por:

$$G_C = \mu - \lambda \quad (1)$$

E seus valores, que pertencem ao conjunto $\mathfrak{R}$, variam no intervalo fechado +1 e -1, e estão no eixo horizontal do reticulado, o qual se denomina de “*Eixo dos Graus de Certeza*”.

Quando G_C resultar em +1 significa que o estado lógico resultante da análise paraconsistente é Verdadeiro (V), e quando G_C resultar em -1, significa que o estado lógico resultante da análise é Falso (F).

1.3.3.2 O GRAU DE CONTRADIÇÃO

Do segundo termo obtido no par ordenado da equação da transformação fica: $x+y-1=\mu+\lambda-1 \rightarrow$ o qual denominou de Grau de Contradição (G_{ct}). Portanto, o Grau de Contradição é obtido por:

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1 \quad (2)$$

E seus valores, que pertencem ao conjunto $\mathfrak{R}$, variam no intervalo fechado +1 e -1, e estão no eixo vertical do reticulado, o qual se denomina de “*Eixo dos graus de Contradição*”.

Quando G_{ct} resultar em +1, significa que o estado lógico resultante da análise paraconsistente é Inconsistente (T), e quando G_C resultar em -1, significa que o estado lógico resultante da análise é Indeterminado ($\perp$).

A partir de um estudo mais detalhado visto em Da Silva Filho [2009], pode-se encontrar o Grau de Certeza Real (G_{CR}) como um valor projetado no eixo dos graus de certeza do Reticulado através das equações:

$$G_{CR} = 1 - \sqrt{(1 - |G_C|)^2 + G_{ct}^2} \quad (3)$$

se $G_C > 0$

$$G_{CR} = \sqrt{(1 - |G_C|)^2 + G_{ct}^2} - 1 \quad (4)$$

se $G_C < 0$

E a partir de G_{CR} , pode-se encontrar o seu valor normalizado, denominado de Grau de Evidência Resultante (μ_{ER}). Portanto:

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2} \quad (5)$$

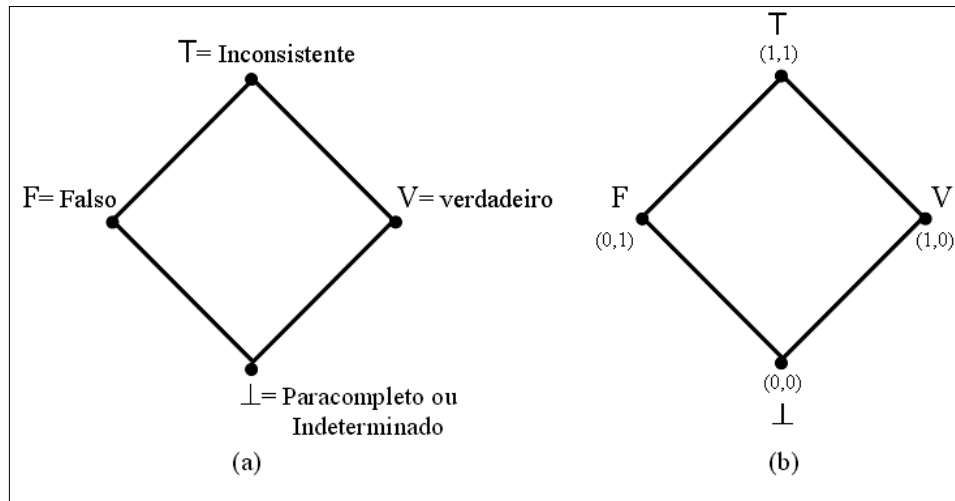


Figura 8 - Reticulado Representativo De Hasse.
 Fonte: Da Silva Filho (2001)

Considerando os valores encontrados no quadrado unitário do plano cartesiano pode-se estender a análise em uma representação de 2 eixos: um com os valores do grau de contradição e outro com os valores do grau de certeza. Estes dois eixos são sobrepostos de tal forma a serem comparados com o reticulado do LPA2v, onde se podem delimitar regiões que serão comparadas a determinados estados lógicos paraconsistentes.

1.3.4. ALGORITMOS PARACONSISTENTES

1.3.4.1 TRATAMENTOS PARACONSISTENTES DE DADOS ECOLÓGICOS

Verifica-se que, em uma técnica denominada de Para-Estatística Descritiva, onde se faz a mescla de métodos fundamentados em Lógica Paraconsistente e em Estatística, pode-se criar algoritmos. A partir dos métodos estatísticos referentes à distribuição da frequência, estes algoritmos permitem que sejam obtidas as formas de extração de sinais de informação modelados como graus de evidência para aplicação nas análises baseadas em LPA2v (DA SILVA FILHO *et al.*, 2012).

Conforme será exposto a seguir, os algoritmos paraconsistentes, juntamente com o algoritmo para obtenção do Grau de Evidência da Frequência, podem ser aplicados em análise de um processo ecológico que estuda o problema da poluição em ambientes marinhos.

3.4.2 EXTRAÇÃO DO GRAU DE EVIDÊNCIA ATRAVÉS DE TABELAS

Conforme foi visto, para a sua correta aplicação, a LPA2v necessita de sinais de informação na forma de dois graus μ e λ , que expressem evidências sobre a proposição referente ao processo físico a ser analisado. Esses dois Graus de Evidência devem ser representativos, pertencente ao conjunto dos números reais e valorados no intervalo fechado entre 0 e 1.

Neste trabalho, é apresentada uma abordagem de extração dos Graus de Evidência a partir de tabelas de frequência (DA SILVA FILHO *et al.*, 2012).

Na interpretação de tabelas, é comumente feita a inclusão de uma coluna contendo as frequências relativas cujos valores poderão servir para a extração de evidência de acordo com as proposições relacionadas ao processo. Sendo assim, em um processo ecológico, a tabela de densidade da frequência, obtida pela Estatística Descritiva, é um quadro que resume um conjunto de observações onde a partir de seus valores podem-se extrair Graus de Evidência que servirão para compor os sinais das entradas das análises Paraconsistentes.

3.4.3 ALGORITMO DE ANÁLISE PARACONSISTENTE

Das equações da Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores (LPA2v) são extraídos algoritmos para tratamento e análise de sinais de informação aplicados na forma de Graus de Evidência. Todos os procedimentos relacionados ao tratamento lógico paraconsistente estarão relacionados à análise efetuada por um algoritmo denominado de NAP (Nó de Análise Paraconsistente) (DA SILVA FILHO, 2009 e SPENGLER *et al.*, 2008), conforme descrito a seguir.

Nó de Análise Paraconsistente - NAP

Apresentamos, abaixo, o descritivo e o símbolo de um NAP típico que será utilizado nas análises (DA SILVA FILHO *et al.*, 2009).

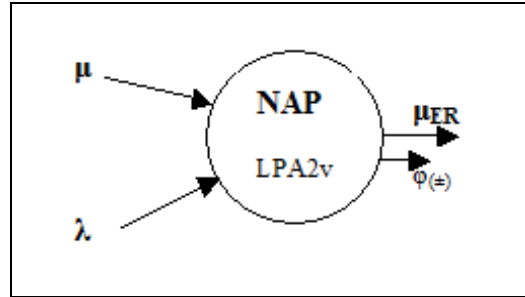


Figura 9 – Símbolo do NAP - Nó de Análise Paraconsistente.
Fonte: Da Silva Filho, 2001.

1. Entre com os valores de Entrada:

μ */ Grau de Evidência favorável $0 \leq \mu \leq 1$

λ */ Grau de Evidência desfavorável $0 \leq \lambda \leq 1$

2. Calcule o Grau de Certeza:

$$G_C = \mu - \lambda$$

3. Calcule o Grau de Contradição:

$$G_{ct} = (\mu + \lambda) - 1$$

4. Calcule a distância d:

$$d = \sqrt{(1 - |G_C|)^2 + G_{ct}^2}$$

5. Calcule o Grau de Contradição normalizado:

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

6. Calcule o Intervalo de Evidência resultante:

$$\varphi_E = 1 - |2\mu_{ctr} - 1|$$

7. Determine o sinal da Saída:

Se $\varphi_E \leq 0,25$ ou $d > 1$, então faça: $S1 = 0,5$ e $S2 = \varphi_{E(\pm)}$: Indefinição e vá para o item 11

Senão vá para o próximo item.

8. Determine o Grau de Certeza real:

$$\text{Se } G_C > 0 \quad G_{CR} = (1 - d)$$

$$\text{Se } G_C < 0 \quad G_{CR} = (d - 1)$$

9. Calcule o Grau de Evidência resultante real:

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2}$$

10. Apresente os resultados na saída:

$$\text{Faça } S1 = \mu_{ER} \text{ e } S2 = \varphi_{E(\pm)}$$

11. Fim.

Conforme visto em (DA SILVA FILHO *et al.*, 2009), os algoritmos NAPs podem ser interligados, formando redes Paraconsistente de tratamento de dados.

Neste trabalho, será utilizado um algoritmo denominado de Extrator de Efeitos da Contradição, que é formado por diversos NAPs, conforme descrito a seguir.

1.3.4.4 ALGORITMO EXTRATOR DE EFEITOS DE CONTRADIÇÃO

O Algoritmo denominado de Extrator de Efeitos da Contradição (DA SILVA FILHO *et al.*, 2010) recebe um grupo de sinais e, independentemente de outras informações externas, tem a função de fazer uma análise paraconsistente em seus valores, subtraindo os efeitos causados pela contradição e apresentar, na saída, um único Grau de Evidência resultante real representativo do grupo.

O algoritmo utilizado no processo de extração de efeitos da contradição é descrito a seguir:

1. Apresente os valores de Graus de Evidência do grupo em estudo.

$$G\mu_{est} = (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n) \text{ */ Graus de Evidência } 0,0 \leq \mu \leq 1,0 \text{ */}$$

2. Selecione o maior valor entre os Graus de Evidência do grupo em estudo.

$$M_{\max A} = \text{Máx} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n)$$

3. Selecione o menor valor entre os Graus de Evidência do grupo em estudo.

$$M_{\min A} = \text{Mín} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n)$$

4. Faça a análise Paraconsistente entre os valores selecionados $\mu_{\max A}$ e $\mu_{\min A}$:

$$\mu_{R1} = \mu_{\max A} \diamond \mu_{\min A} \text{ */ Utilização de um NAP */}$$

5. Acrescente o valor obtido μ_{R1} ao grupo em estudo excluindo deste os dois valores $\mu_{\max}$ e $\mu_{\min}$ selecionados anteriormente.

$$G\mu_{est} = (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots, \mu_n, \mu_{R1}) - (\mu_{\max A}, \mu_{\min A})$$

6. Retorne ao item 2 até que o Grupo em estudo tenha um único elemento, considerado o valor resultante das análises.

$$G\mu_{est} = (\mu_{ER})$$

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Estatística, através de seus conceitos e fundamentos, apresenta métodos que permitem que sejam estudados os mais variados fenômenos das diversas áreas do conhecimento e, portanto, é um valioso instrumento matemático para análise e tratamentos de dados.

2.1 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Nos ensaios de toxicidade, são utilizados diversos métodos estatísticos para tratamento das informações coletadas em campo. No entanto, os processos ecológicos que envolvem a problemática da poluição marinha apresentam graus de complexidade, tanto na fase da coleta de informações, bem como na fase de análise e interpretação dos dados. As condições do meio físico real em que os dados são coletados fazem com que os resultados apresentados pela Estatística sejam, em algumas ocasiões, difíceis de interpretar, levando à conclusão de que não espelham a realidade (DA SILVA FILHO *et al.*, 2012).

2.2 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Nos trabalhos de Moraes (2009) e Cesar (2010), que são as fontes secundárias de dados que serão interpretados com a LPA2v, para os ensaios com interface sedimento-água e sedimento elutriado os resultados dos ensaios foram submetidos ao teste de normalidade dos dados QUI-QUADRADO e ao método de análises de variância (ANOVA) empregando o método Dunnett's test para comparações das estações de amostragem em relação ao controle. Antes da aplicação, os dados foram submetidos à avaliação de homogeneidade de variâncias pelo método *Bartlett's test*.

2.3 MÉTODOS DE ANÁLISES PARACONSISTENTES

Recentemente, múltiplas teorias e técnicas de tratamento de sinais incertos estão sendo desenvolvidas em Inteligência Artificial, aplicando lógicas não clássicas nas mais variadas áreas. A LPA é uma classe de Lógica Paraconsistente que apresenta fundamentos nos quais dados inconsistentes são considerados sem que os conflitos sejam capazes de dissolver o sentido da análise. Para isso são

utilizadas anotações que atribuem estados lógicos paraconsistentes à determinada proposição que esteja sendo analisada. A propriedade de aceitar a contradição, em suas fórmulas básicas, faz com que a Lógica Paraconsistente Anotada possa se apresentar como uma boa ferramenta para criação de algoritmos capazes de tratar dados originados de banco de dados incertos.

Conforme pode ser visto em Da Silva Filho (2012), com base nos fundamentos da LPA, podem-se elaborar interpretações em um Reticulado associado em que se obtêm equações paraconsistentes.

2.4 MÉTODO DE ANÁLISE QUANTITATIVA ESTATÍSTICO PARACONSISTENTE

Entre essas lógicas não clássicas, as Lógicas Paraconsistentes, que têm uma característica importante de apresentar como principal vantagem a capacidade de tratar convenientemente informações contraditórias, apresentam, em alguns casos, significativas vantagens em relação às lógicas clássicas binárias. Pode-se notar essa característica com o algoritmo originado da união da estatística com a LPA é denominado de “Paraconsistente/Estatístico Descritivo” (DA SILVA FILHO *et al.*, 2012).

Nessa técnica, são utilizados os resultados dos valores evidenciados no processo de análises de toxicidade com ouriço-do-mar, que inicialmente aplica os métodos usuais da Estatística Descritiva. Nessa fase inicial, os valores da densidade da frequência encontrados pela contagem, baseada na observação da porcentagem de desenvolvimento embriolarval de larvas de ouriços-do-mar obtidos nos ensaios de toxicidade, foram transformados em Graus de Evidência representativos neste processo. Em seguida, estes valores de Graus de evidência expressos por uma normalização, portanto representados por um número real entre o intervalo fechado $[0,1]$ são tratados com uma técnica Paraestatística Descritiva e interpretações fundamentadas em Lógica Paraconsistente Anotada (LPA).

Para mostrar as aplicações da técnica Paraestatística Descritiva utilizando os algoritmos da Lógica Paraconsistente Anotada serão desenvolvidos dois exemplos estruturados em dados reais.

No primeiro exemplo, serão utilizados os dados obtidos em Moraes (2006).

No segundo exemplo de aplicação, será utilizada parte dos dados dos resultados da pesquisa publicada em Cesar (2003).

Esses dois exemplos de aplicação serão apresentados detalhadamente no próximo capítulo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

APLICAÇÕES DA TÉCNICA DE ANÁLISE PARACONSISTENTE

3.1 ANÁLISES DO PRIMEIRO EXEMPLO

Para a realização dos ensaios neste primeiro exemplo, foram utilizadas amostras ambientais, coletadas em quatro pontos localizados nas áreas de influência dos emissários submarinos dos Municípios de Praia Grande, Santos e Guarujá, e uma estação referência localizada próximo ao Monte Pascal no município de Bertioga, SP, extraídos de um estudo apresentado como TCC por Moraes (2006), conforme descrito no capítulo 2.

Através dos métodos descritos, foram gerados os resultados disponibilizados na tabela 1 e que são utilizados como fonte secundária para este estudo.

Aplicando o Algoritmo da LPA “Paraconsistente/Estatístico Descritivo” as densidades de frequência do desenvolvimento embrionário, considerado normal para cada réplica, são transformadas em Graus de Evidência (μ).

Utilizando os conceitos da LPA2v, a proposição utilizada nesta fase da pesquisa é:

P: “ O desenvolvimento embrionário é alto.”

Com base nos fundamentos da LPA2v e na proposição utilizada, neste primeiro exemplo de aplicação o Grau de Evidência de cada réplica, é obtido dividindo-se o número de larvas com desenvolvimento normal de cada réplica da estação pelo número de larvas com desenvolvimento normal da réplica do controle.

$$\mu = \frac{\text{nº de larvas com desenvolvimento normal de cada réplica}}{\text{nº de larvas com desenvolvimento normal da réplica do controle}}$$

Apresentam-se, como exemplos, os valores da estação da Vila Tupi expostos na tabela 2 do capítulo 2.3.8:

$$\mu_{R1} = \frac{35}{96} = 0,36458333$$

$$\mu_{R2} = \frac{53}{91} = 0,58241758$$

$$\mu_{R3} = \frac{70}{93} = 0,75268817$$

$$\mu_{R4} = \frac{76}{90} = 0,84444444$$

Aplicando o Algoritmo Extrator de Efeitos de Contradição (*Paraextract*) no conjunto das quatro réplicas, têm-se os passos e valores conseguidos através da análise pela LPA2v, conforme descrito a seguir.

1 – Escolhe-se o maior valor e o menor valor do grupo das quatro réplicas de Graus de Evidência da frequência:

$$\mu_{\text{maior}} = 0,84444444 \text{ e } \mu_{\text{menor}} = 0,36458333$$

Determina-se o Grau de Evidência Desfavorável da análise LPA2v fazendo o complemento do segundo valor.

$$\lambda = 1 - 0,36458333 = 0,63541667$$

2 – Calcule o Grau de Certeza:

$$G_C = \mu_{\text{maior}} - \lambda = 0,84444444 - 0,63541667 = 0,20902777$$

3 – Calcule o Grau de Contradição:

$$G_{CT} = (\mu_{\text{maior}} + \lambda) - 1 \Rightarrow G_{CT} = (0,84444444 + 0,63541667) - 1 = 0,47986111$$

4 – Calcule a distância d:

$$d = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{CT}^2}$$

$$d = \sqrt{(1 - |0,20902777|)^2 + 0,47986111^2} = 0,92515065$$

5 – Calcule o Grau de Contradição normalizado:

$$\mu_{CTR} = \frac{\mu_{\text{maior}} + \lambda}{2}$$

$$\mu_{CTR} = \frac{0,84444444 + 0,63541667}{2} = 0,73993055$$

6 – Calcule o intervalo de Evidência resultante:

$$\varphi_E = 1 - |2 \cdot \mu_{CT} - 1| = 0,5201389$$

7 – Calcule o Grau de Certeza real:

$$G_{CR} = 1 - d = 1 - 0,92515065 = 0,07484935$$

8 – Calcule o Grau de Evidência resultante real:

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2} = \frac{0,07484935 + 1}{2} = 0,53742467$$

A seguir, repete-se esse algoritmo comparando-se esse Grau de Evidência resultante real com os outros dois Graus de Evidência que não foram selecionados, até obter o Grau de Evidência resultante da estação.

Os resultados obtidos com o algoritmo desenvolvido para as outras estações são apresentados na tabela 3 e na tabela 4.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de toxicidade com ouriço-do-mar *L. variegatus* analisados através de métodos de lógica paraconsistente anotada.

Estação	R1	μ_{R1}	R2	μ_{R2}	R3	μ_{R3}	R4	μ_{R4}
Vila Tupi	35	0,36458333	53	0,58241758	70	0,75268817	76	0,84444444
Forte Itaipu	63	0,65625000	67	0,73626373	68	0,73118279	69	0,76666666
Santos	92	0,95833333	82	0,90109890	91	0,97849462	98	1,00000000
Guarujá	90	0,93750000	86	0,94505494	90	0,96774193	86	0,95555555
Referência	88	0,91666666	81	0,89010989	75	0,80645161	85	0,94444444
Controle	96	1,00000000	91	1,00000000	93	1,00000000	90	1,00000000

Tabela 4 – Grau de Evidência Resultante das estações.

Estação	Grau de evidência resultante (μ_R)
Vila Tupi	0,60506670
Forte Itaipu	0,72596238
Santos	0,95302815
Guarujá	0,95002866
Referência	0,88667545
Controle	1,00000000

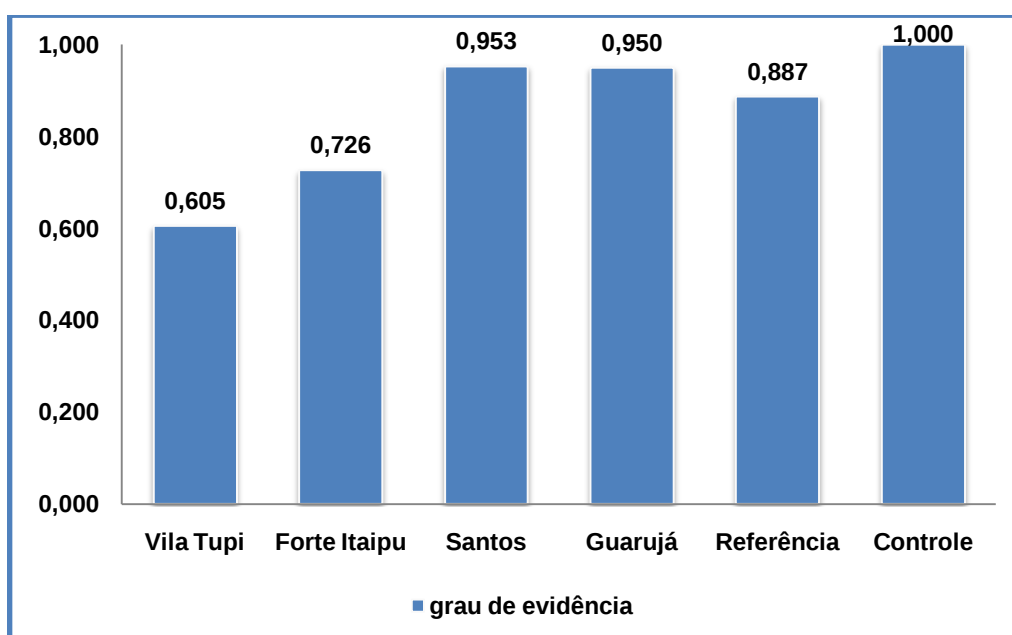


Figura 10 – Gráfico dos Graus de Evidência Resultantes das estações da Baixada Santista.

A posição dos Graus de Evidência Resultantes de cada estação, com o grau de certeza normalizado no intervalo $[0;1]$, pode ser visualizada nas figuras dos reticulados a seguir.

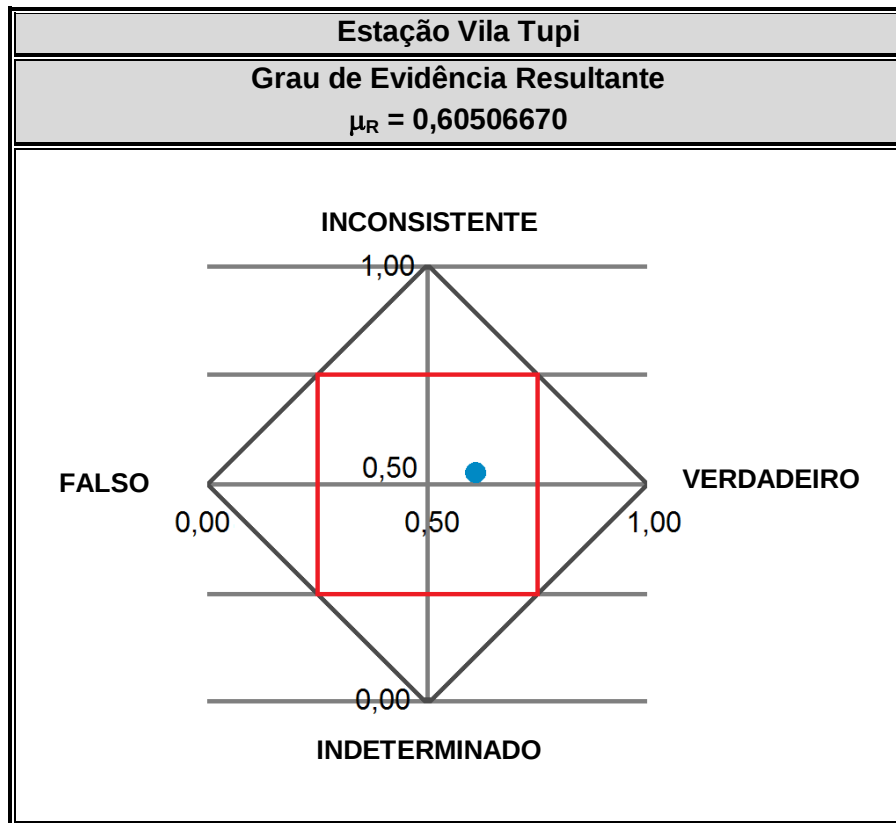


Figura 11 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Vila Tupi.

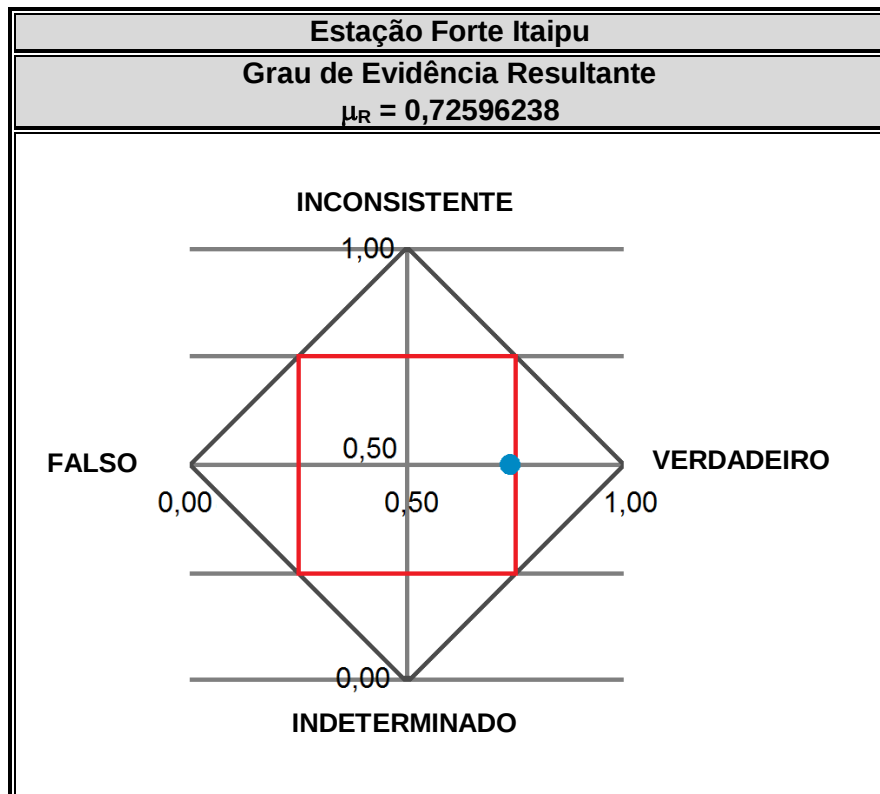


Figura 12 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Forte Itaipu.

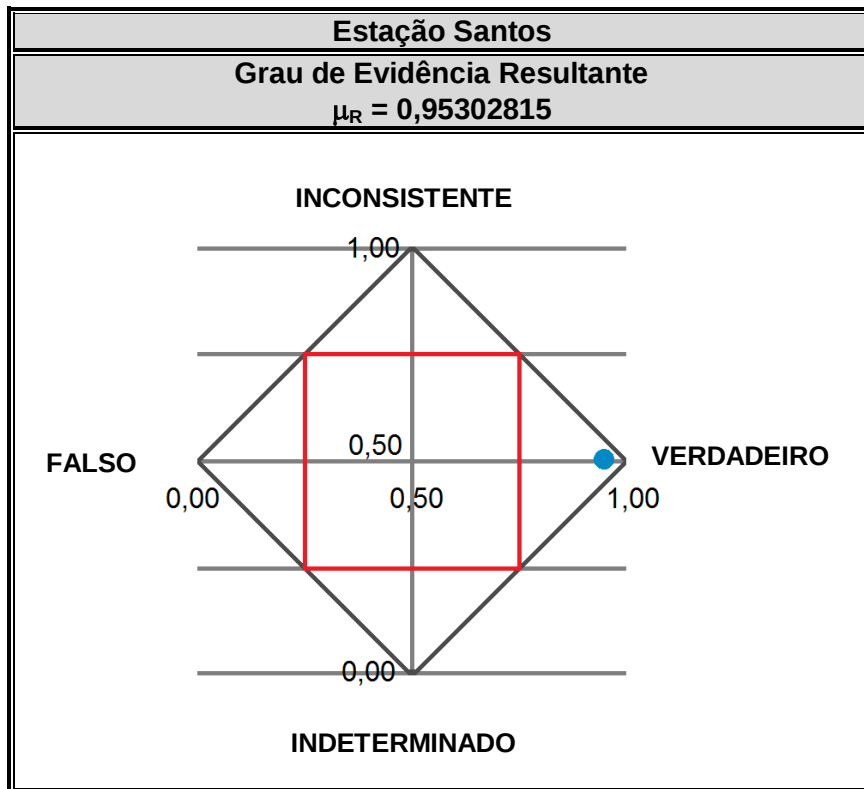


Figura 13 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Santos.

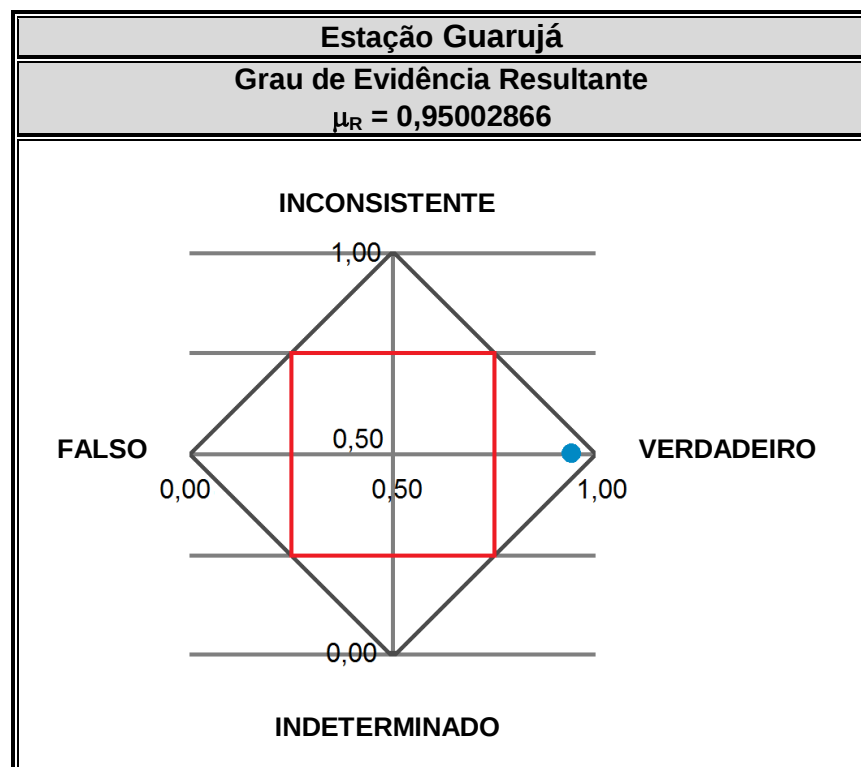


Figura 14 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação Guarujá.

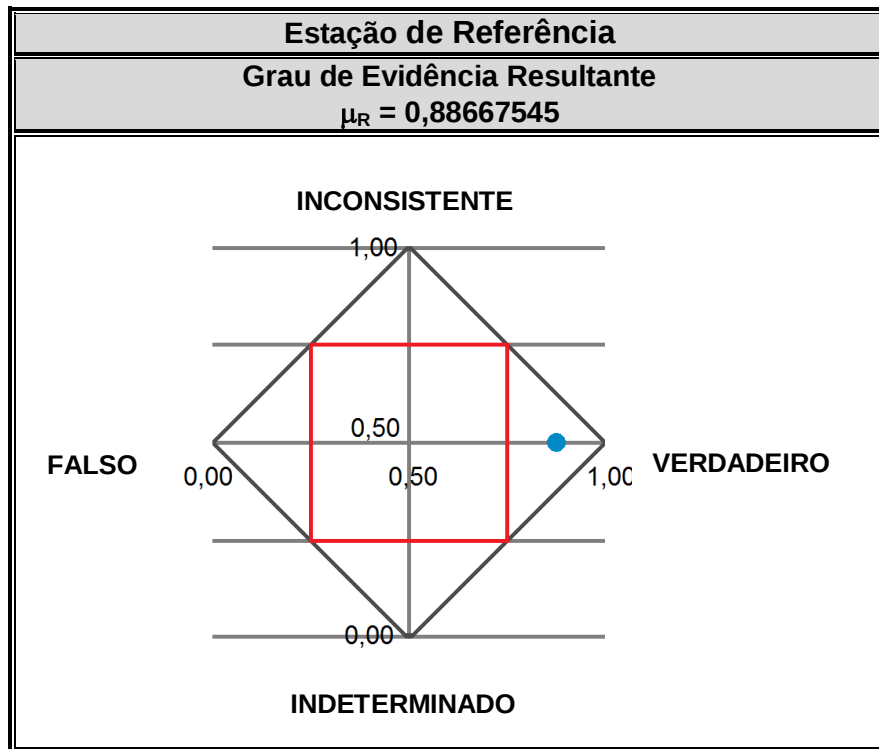


Figura 15 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação de Referência.

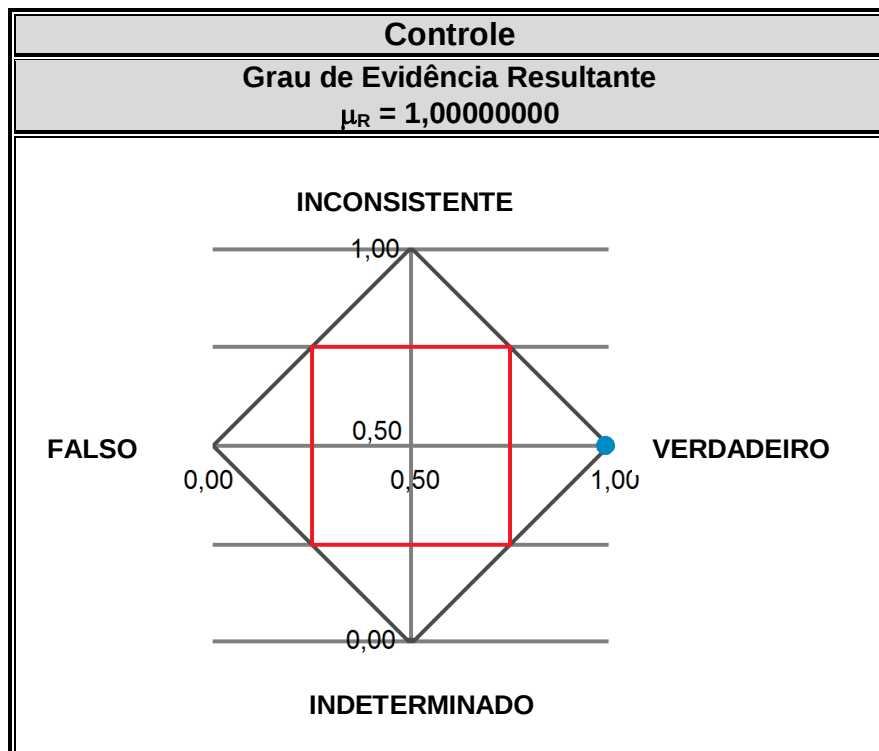


Figura 16 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante do Controle.

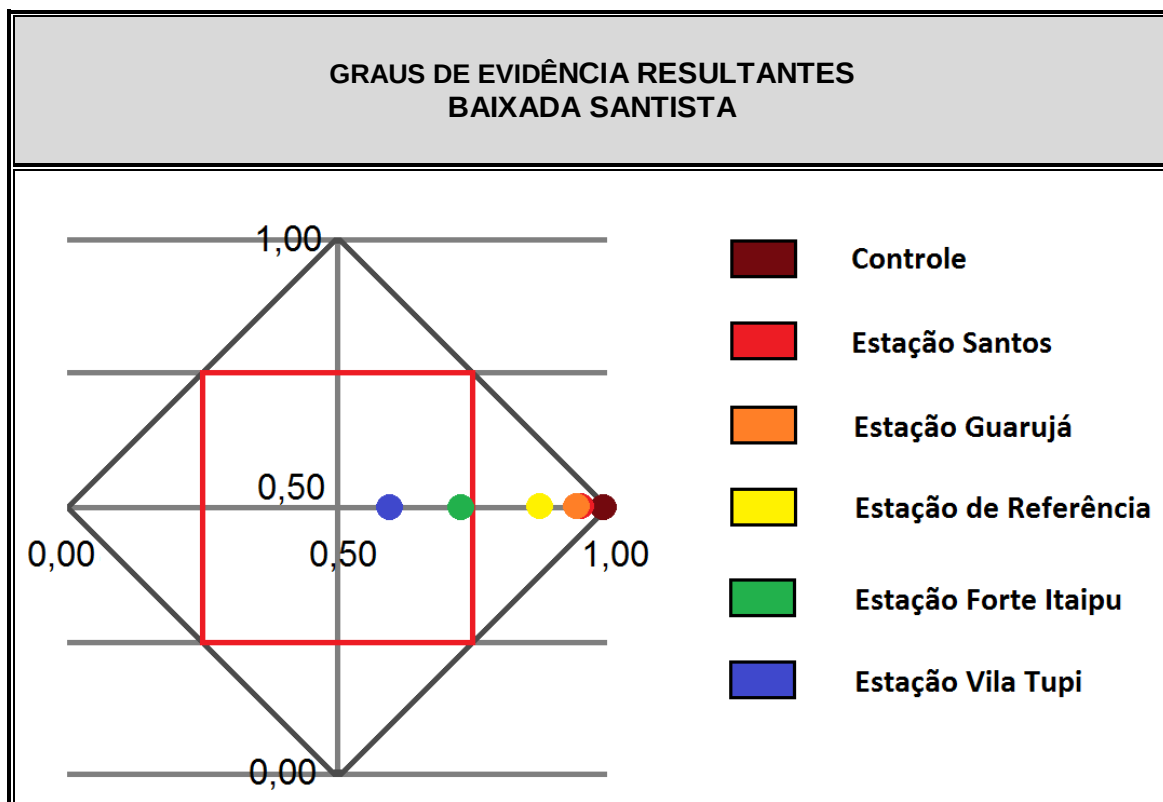


Figura 17 – Reticulado com os pontos dos Graus de Evidência Resultantes das estações da Baixada Santista.

3.2 DISCUSSÃO DO PRIMEIRO EXEMPLO

Na tabela 3, estão expostos os resultados dos ensaios de toxicidade com ouriço-do-mar *L. variegatus* para cada uma das réplicas e seu valor do Grau de Evidência, analisados através de métodos de Lógica Paraconsistente Anotada. Verifica-se que os valores dos Graus de Evidência sempre estão referenciados ao controle que, por esse motivo, aparece com Grau de Evidência unitário para cada uma das réplicas.

Para cada grupo de réplicas (R1-R4), formado pelos seus respectivos valores dos Graus de Evidência, foi extraído o efeito da contradição através da aplicação do Algoritmo *Paraextract*. Os valores resultantes do Grau de Evidência de cada conjunto de dados das réplicas, para cada estação de coleta, estão expostos na tabela 4 e no gráfico da figura 10.

Verifica-se, na tabela 4, que os valores dos Graus de Evidência encontrados após a aplicação do Algoritmo mostram que, após as análises Paraconsistentes nas réplicas (R1-R4), concernente a cada uma das quatro estações de coletas, a

estação Vila Tupi, em relação às demais estações (estação do Forte Itaipu, de Santos e do Guarujá), apresentou maior índice de toxicidade devido ao desenvolvimento embriolarval alcançado ter menor Grau de Evidência quando comparado ao Grau de Evidência de referência do Controle. A estação de Santos apresentou menor índice de toxicidade pelo motivo do desenvolvimento embriolarval atingido ter maior Grau de Evidência quando comparado ao do Controle.

Os valores dos Graus de Evidência Resultantes (μ_R) de cada estação podem ser visualizados no mapa apresentado na figura 18.

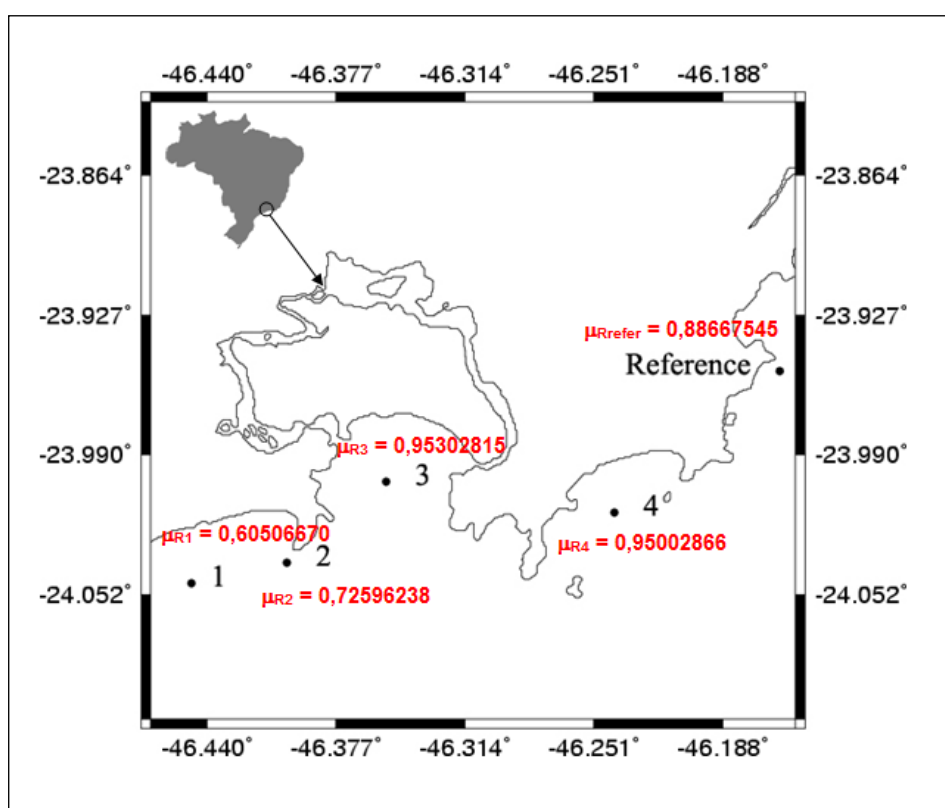


Figura 18 – Mapa das estações com a identificação dos valores do Grau de Evidência Resultante em cada ponto.
Adaptado de MORAIS (2006).

3.3 ANÁLISES DO SEGUNDO EXEMPLO

3.3.1 AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DA POLUIÇÃO MARINHA DA BAÍA DE PORTMAN

Para a realização dos ensaios nesse segundo exemplo, foram utilizadas amostras ambientais, coletadas sinopticamente ao longo de um gradiente espacial

na mesma profundidade (10-15 m), em março de 2002, na Baía de Portman, sudeste da Espanha, extraídas da tese de doutorado de Cesar (2003).

A amostragem espacial foi concebida após estudos anteriores (setembro e dezembro de 1999, Outubro de 2000) (CESAR *et al.*, 2000 e CESAR *et al.*, 2003). As estações de amostragem foram selecionadas em distâncias regulares entre a antiga mina de descarga e Cabo de *Palos*, enquanto que a estação de controle foi localizada em *Fraile Island*, uma reserva natural com as comunidades marinhas protegidas, cerca de 60 km a oeste do antigo ponto de emissão. Amostras idênticas ($n = 4$) foram coletadas de todos os pontos ($n = 7$) ao longo do gradiente de contaminação numa escala espacial considerada apropriada para examinar as diferenças ao longo do gradiente.

Tabela 5 – Coordenadas e profundidades das estações de coleta da baía de *Portman*.

ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	PROF. (m)
Isla Del Fraile - IF	37°24'655 W	1°32'861 N	-15,6
Punta Loma Larga – PLL	37°35'161 W	0°47'165 N	-12,8
Cabo Negrete – CN	37°34'327 W	0°49'326 N	-12,7
Canto De La Manceba – CM	37°35'052 W	0°48'376 N	-15,6
Punta Negra – PN	37°34'052 W	0°50'496 N	-16,3
Punta Galera - PG	37°34'052 W	0°51'712 N	-12,8
Punta Espada – PE	37°36'417 W	0°42'823 N	-13,8

Fonte: Cesar (2003).

Segundo Cesar, 2003 esta área tinha uma esplêndida baía onde se formou um dos melhores portos naturais de refúgio espanhol mediterrâneo. Atualmente, a baía de *Portman* contém o sedimento mais gravemente contaminado por metal pesado do Mar Mediterrâneo.

De 1958-1991, aproximadamente 50 milhões de toneladas de resíduos foram despejados na costa, colmatando praticamente toda a baía e uma extensa área da plataforma continental.

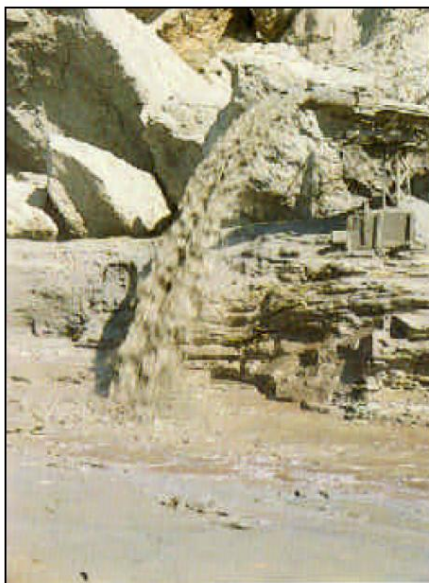


Figura 19 – Empresa Penyarroya, efluente lançado no mar Mediterrâneo.
 Fonte: Cesar (2003).

Embora a deposição destas descargas tenha sido definitivamente interrompida em 31 de março de 1990, os resíduos de mineração comprometeram quase toda a baía de Portman e áreas adjacentes, que se estendem para a extremidade da plataforma continental.

Os ouriços-do-mar utilizados neste estudo de Cesar, 2003 foram obtidos por mergulhadores de *Fraile Island* (IF). A toxicidade, na interface sedimento-água, foi determinada por meio de testes de desenvolvimento embriolarval com ouriço-do-mar da espécie, *Arbacia lixula*, seguindo os procedimentos descritos em Cesar *et al.*, 2003.

No trabalho de Cesar, 2003 os dados de toxicidade foram verificados por pressupostos de normalidade e homocedasticidade com *Shapiro-Wilk* e teste de *Bartlett*, respectivamente. Dados de desenvolvimento larval foram arco seno raiz quadrada transformados antes da análise estatística.

Diferenças significativas foram avaliadas com uma análise de variância paramétrica (ANOVA), seguida pelo teste de *Dunnett*. Estas análises foram realizadas com o pacote de estatística *Toxstat*® V.3.3 (GULLEY, 1991). O teste de *Newman-Keuls* também foi aplicado ao comparar as médias de larvas normalmente desenvolvidas obtidas nos ensaios de toxicidade com ouriço-do-mar.

Medidas univariadas incluíram os índices de diversidade de *Shannon-Wiener* calculado usando logaritmos naturais (H'), riqueza de espécies ($Margalef'sd$),

uniformidade (J de Pielou), abundância total (A) e a abundância de taxa (S). A significância das diferenças entre pontos foi testada usando uma ANOVA. Através dos métodos descritos, foram gerados os resultados disponibilizados na tabela 6, que são utilizados como fonte secundária para este segundo estudo de aplicação da LPA2v.

Tabela 6 – Desenvolvimento embriolarval normal e anormal das réplicas das estações da baía de Portman.

MUESTRAS	TUBO N°.	LECTURA		MEDIA SUPERV.	MEDIA MORTAL.
		NORMAL	ANORMAL		
Isla del Fraile R-1	10	95	5		
Isla del Fraile R-2	9	90	10		
Isla del Fraile R-3	8	92	8	91,25	8,75
Isla del Fraile R-4	7	88	12		
Punta Loma Larga R-1	6	62	38		
Punta Loma Larga R-2	5	58	42	63,75	36,3
Punta Loma Larga R-3	4	65	35		
Punta Loma Larga R-4	3	70	30		
Cabo Negrete R-1	2	27	73		
Cabo Negrete R-2	1	28	72		
Cabo Negrete R-3	28	30	70	27,25	72,8
Cabo Negrete R-4	27	24	76		
Canto de la Manceba R-1	26	40	60		
Canto de la Manceba R-2	25	48	68		
Canto de la Manceba R-3	24	35	65	41,25	62,8
Canto de la Manceba R-4	23	42	58		
Punta Negra R-1	22	0	100		
Punta Negra R-2	21	0	100		
Punta Negra R-3	20	0	100	0	100
Punta Negra R-4	11	0	100		
Punta Galera R-1	12	0	100		
Punta Galera R-2	13	0	100		
Punta Galera R-3	14	0	100	0	100
Punta Galera R-4	15	0	100		
Punta Espada R-1	16	94	6		
Punta Espada R-2	17	91	9		
Punta Espada R-3	18	89	11	91,75	8,25
Punta Espada R-4	19	93	7		

Fonte: Cesar (2003).

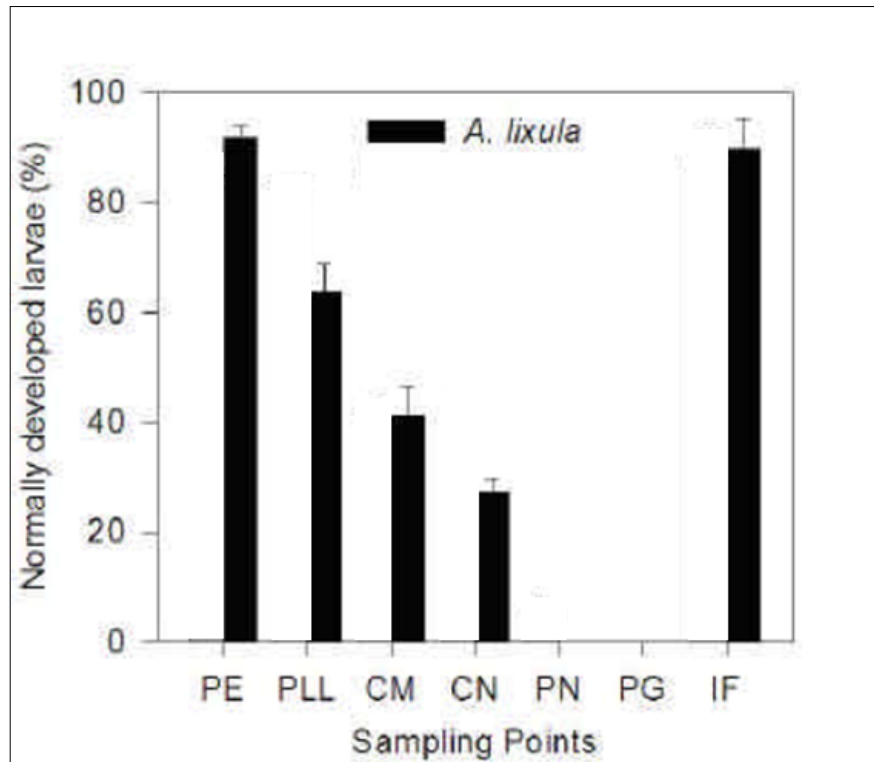


Figura 20 – Gráfico dos testes de interface sedimento-água: comparação de porcentagem média de larvas desenvolvidas normalmente ($\pm$ erro padrão) de *A. lixula* nos diferentes pontos de amostragem.

Adaptado de Cesar (2003).

Aplicando o Algoritmo da LPA “Paraconsistente/Estatístico Descritivo” as densidades de frequência do desenvolvimento embrionarval, considerado normal para cada réplica, são transformadas em Graus de Evidência (μ).

A proposição utilizada nesta fase da pesquisa é:

P: “ O desenvolvimento embrionarval é alto”.

Com base nos fundamentos da LPA2v e na proposição utilizada, neste segundo exemplo de aplicação o Grau de Evidência de cada réplica, é obtido dividindo-se o número de larvas com desenvolvimento normal de cada réplica da estação pelo número total de larvas de cada réplica.

$$\mu = \frac{\text{nº de larvas com desenvolvimento normal de cada réplica}}{\text{nº total de larvas de cada réplica}}$$

Os resultados obtidos com o algoritmo paraconsistente desenvolvido para os dados desse segundo exemplo são apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de toxicidade com ouriço-do-mar *Arbacia lixula* analisados através de métodos de Lógica Paraconsistente Anotada

Estação	R1	μ_{R1}	R2	μ_{R2}	R3	μ_{R3}	R4	μ_{R4}
Punta Espada	94	0,94	91	0,91	89	0,89	93	0,93
Punta Loma Larga	62	0,62	58	0,58	65	0,65	70	0,70
Canto de la Manceba	40	0,40	48	0,48	35	0,35	42	0,42
Cabo Negrete	27	0,27	28	0,28	30	0,30	24	0,24
Punta Negra	0	0	0	0	0	0	0	0
Punta Galera	0	0	0	0	0	0	0	0
Isla del Fraile	95	0,95	90	0,90	92	0,92	88	0,88

Tabela 8 – Grau de Evidência Resultante das estações da baía de *Portman*

Estação	Grau de Evidência Resultante (μ_R)
Punta Espada	0,91529462
Punta Loma Larga	0,63486304
Canto de la Manceba	0,41510541
Cabo Negrete	0,27335874
Punta Negra	0
Punta Galera	0
Isla del Fraile	0,90875856

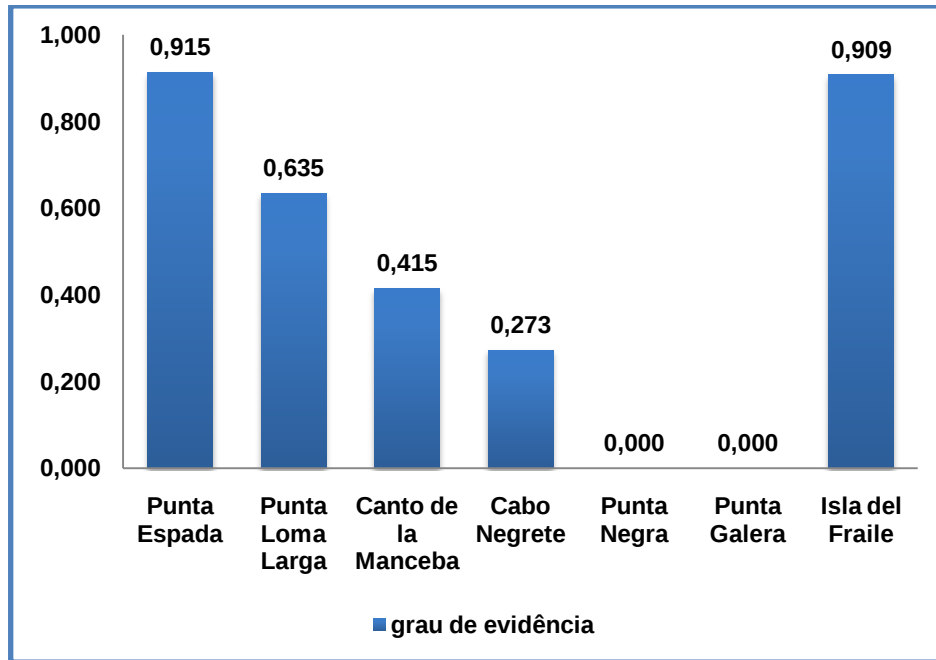


Figura 21 – Gráfico dos Graus de Evidência Resultantes das estações da baía de *Portman*.

A posição dos graus de evidência resultantes de cada estação da Baía de Portman, com o grau de certeza normalizado no intervalo $[0;1]$, pode ser visualizada nos reticulados a seguir.

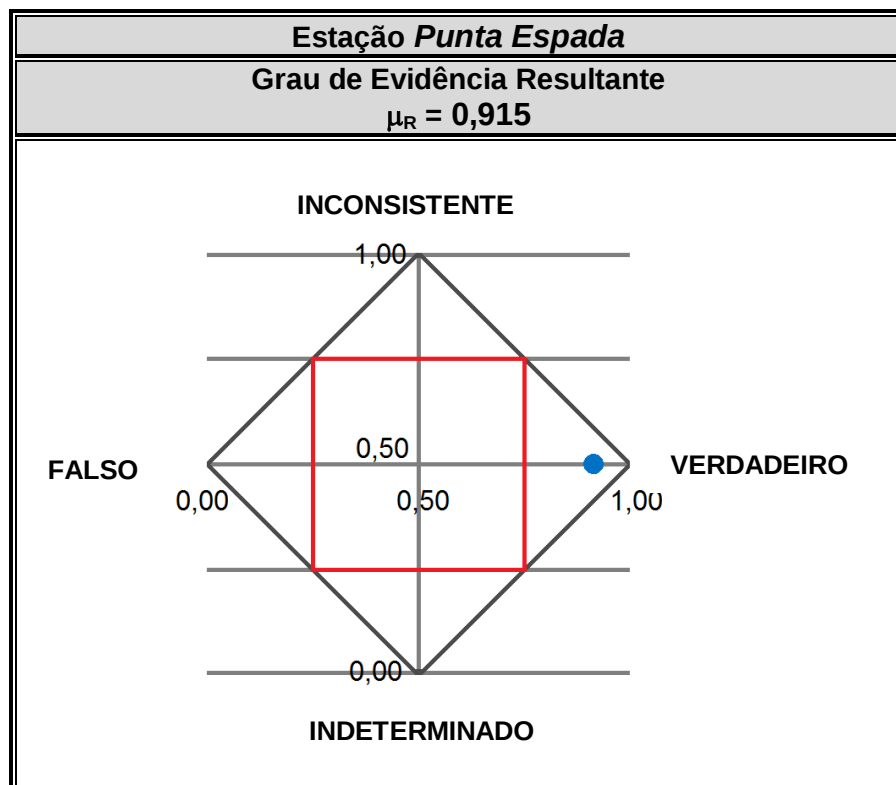


Figura 22 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação *Punta Espada*.

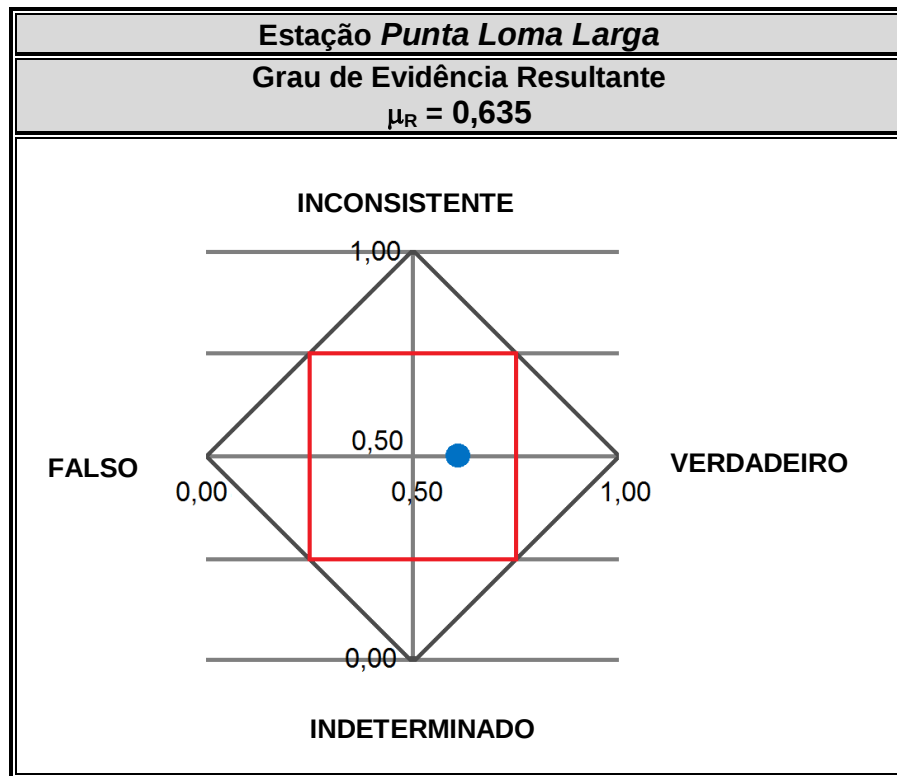


Figura 23 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação *Punta Loma Larga*.

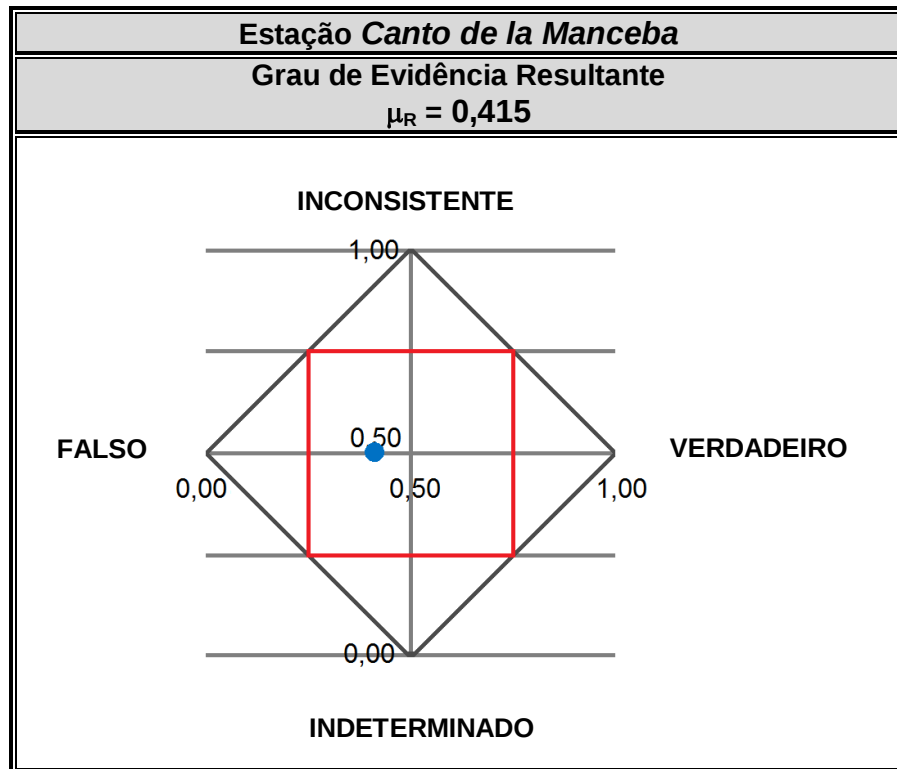


Figura 24 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação *Canto de la Manceba*.

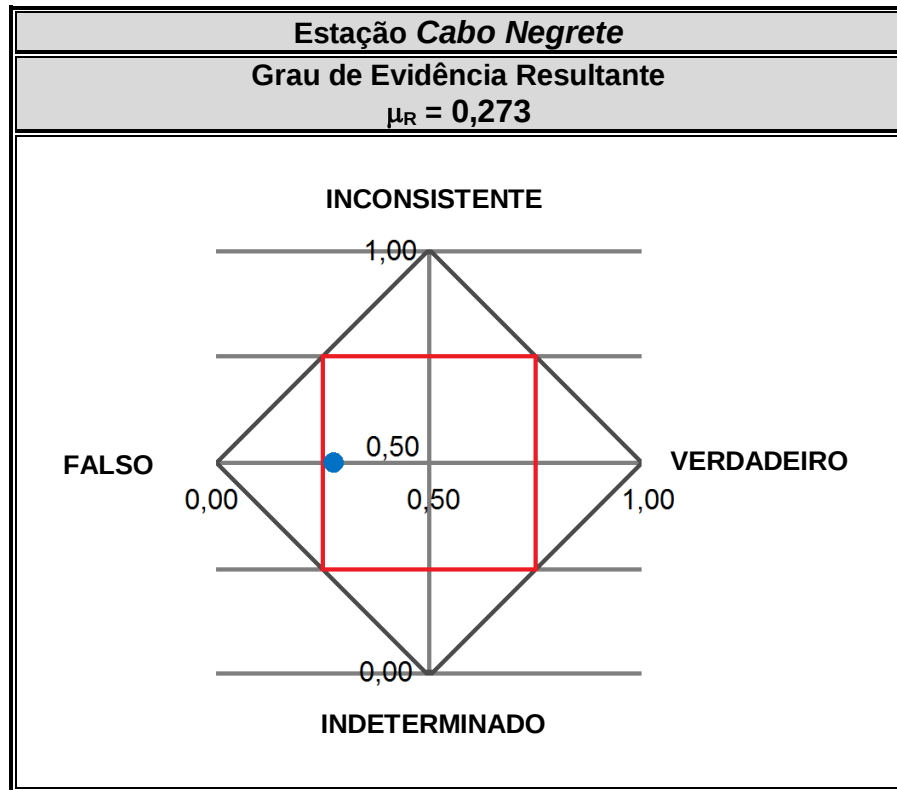


Figura 25 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação *Cabo Negrete*.

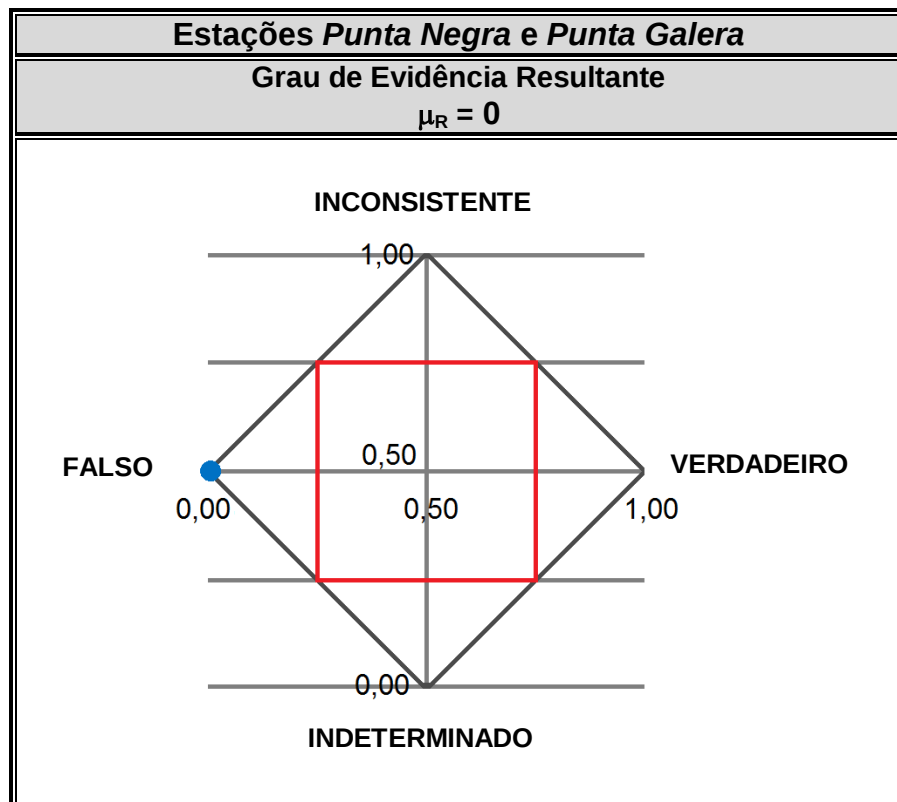


Figura 26 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante das estações *Punta Negra e Punta Galera*.

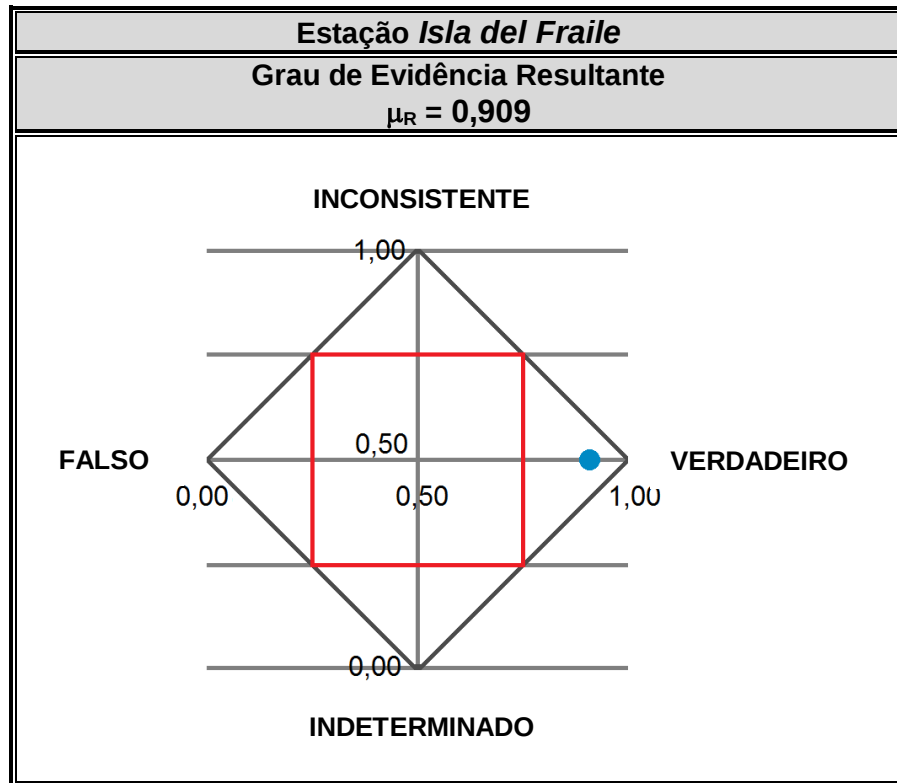


Figura 27 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da estação *Isla del Fraile*.

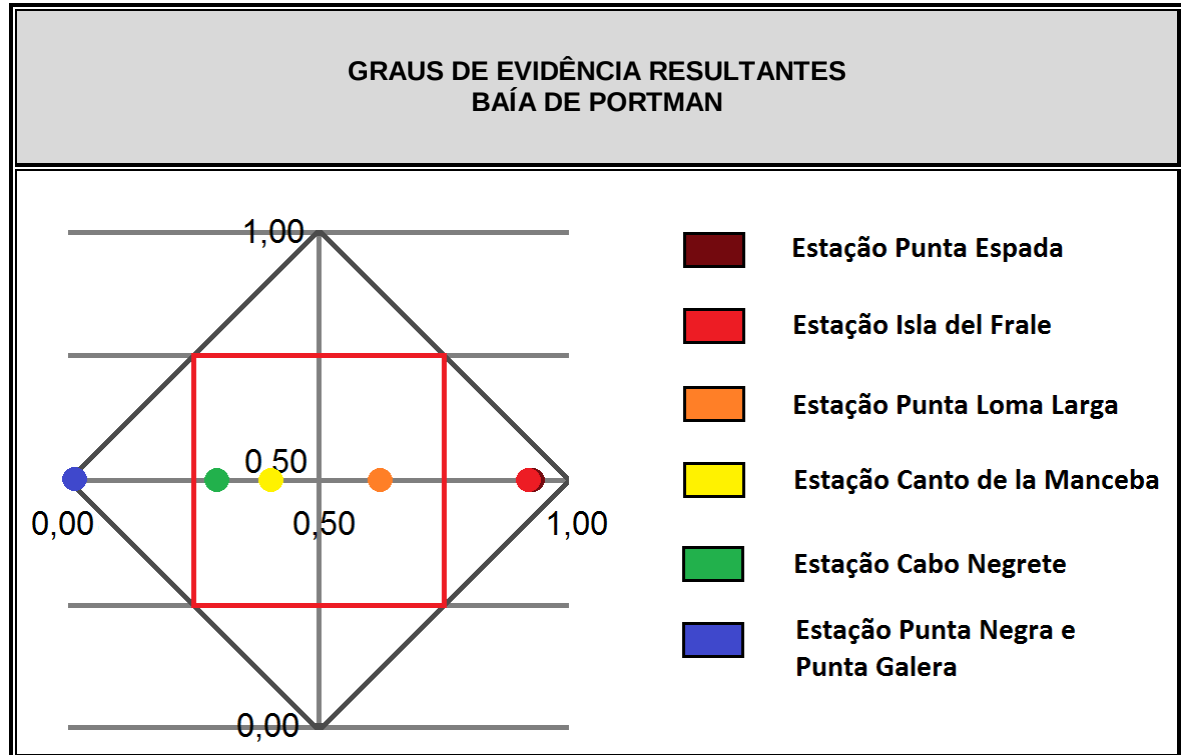


Figura 28 – Reticulado com os pontos dos Graus de Evidência Resultantes das estações da Baía de *Portman*.

3.3.2 SENSIBILIDADE DE OURIÇOS-DO-MAR MEDITERRÂNEO A SUBSTÂNCIAS TÓXICAS DE REFERÊNCIA

No ambiente aquático, muitos produtos químicos antropogênicos e resíduos, incluindo produtos químicos orgânicos e inorgânicos tóxicos, eventualmente, contribuem para degradação do meio ambiente. A sensibilidade de um organismo está relacionada com a exposição (água intersticial, partículas de sedimento ou água sobrejacente) e sua resposta bioquímica para contaminantes. Os ensaios de toxicidade tornaram-se ferramentas eficazes, proporcionando evidências diretas quantificáveis das consequências biológicas da contaminação, pode ser utilizado para medir os efeitos tóxicos interativos complexos de misturas de contaminantes em água e na interface sedimento-água. Uma consideração importante para o desenvolvimento de métodos de ensaio que utilizam espécies específicas é conhecer a sensibilidade relativa dos organismos tanto para misturas químicas individuais quanto complexas (EPA, 1994).

O objetivo do estudo de Cesar, 2003, foi o de fornecer ferramentas ecotoxicológicas para avaliação do potencial de toxicidade dos ecossistemas mediterrâneos. Neste trabalho, foi caracterizada a toxicidade do cloreto de cádmio como substância tóxica de referência para o ouriço-do-mar da espécie *Arbacia lixula*.

No processo de coleta, os ouriços-do-mar foram obtidos por mergulhadores do largo das Ilhas de Fraile-Aguilas e Farallón-Cabo de Palos (Murcia, Espanha).

Os ensaios de toxicidade crônica de curta duração foram desenvolvidos com o cloreto de cádmio (CdCl_2) usado como substância tóxica de referência, em conformidade com as orientações ligeiramente adaptadas (EUA EPA, 1995; Environment Canada, 1997 e CETESB, 1999).

Os procedimentos e pormenores dos ensaios estão descritos em Cesar (2003).

A concentração inibidora (IC) para um efeito específico (IC25 e IC50) em ouriços do mar foi calculada usando o método de interpolação linear (EUA EPA, 1993). ANOVA foi utilizada para avaliar diferenças significativas no IC25 e IC50. A precisão dos dados laboratoriais foi calculada a partir do coeficiente de variação (CV%), utilizando o desvio padrão médio e relativo com a seguinte equação: $\text{CV\%} = \text{desvio padrão} / \text{média} \times 100$.

Através dos métodos descritos, foram gerados os resultados disponibilizados

na tabela 9 que são utilizados como fonte secundária para este estudo.

Tabela 9 – Resultados dos ensaios de sensibilidade com ouriço-do-mar da espécie *Arbacia lixula*, usando cloreto de cádmio como substância de referência.

Fonte: Cesar (2003).

Concentração (mg/l)	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3		Nº de Embriões	
	Leitura		Leitura		Leitura		Somatória	
	Normal	Anormal	Normal	Anormal	Normal	Anormal	Normal	Anormal
Control	84	16	92	8	97	3	273	27
0,5	82	18	78	22	75	25	235	65
0,8	76	24	68	32	76	24	220	80
1,2	66	44	66	34	68	32	200	110
1,8	36	64	32	68	38	62	106	194
2,7	20	80	23	77	19	71	62	228
4,1	0	100	0	100	0	100	0	300

Aplicando o Algoritmo da LPA “Paraconsistente/Estatístico Descritivo” as densidades de frequência do desenvolvimento embriolarval, considerado normal para cada réplica, são transformadas em Graus de Evidência (μ).

A proposição utilizada nesta fase da pesquisa é:

P: “ O Desenvolvimento embriolarval é alto”.

Com base nos fundamentos da LPA2v e na proposição utilizada, neste exemplo de aplicação, o Grau de evidência de cada réplica é obtido dividindo-se o número de larvas com desenvolvimento normal de cada réplica da concentração considerada pelo número total de larvas de cada réplica.

$$\mu = \frac{\text{nº de larvas com desenvolvimento normal de cada réplica}}{\text{nº total de larvas de cada réplica}}$$

Os resultados obtidos com o algoritmo desenvolvido para os dados desse exemplo são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de sensibilidade com ouriço-do-mar *Arbacia lixula*, usando cloreto de cádmio como substância de referência, analisados através de métodos de lógica paraconsistente anotada.

Concentração (mg/l)	R_1	μ_{R1}	R_2	μ_{R2}	R_3	μ_{R3}	Grau de evidência Resultante (μ_R)
controle	84	0,84	92	0,92	97	0,97	0,90087886
0,5	82	0,82	78	0,78	75	0,75	0,78108221
0,8	76	0,76	68	0,68	76	0,76	0,73770246
1,2	66	0,66	66	0,66	68	0,68	0,66488808
1,8	36	0,36	32	0,32	38	0,38	0,35566838
2,7	20	0,20	23	0,23	19	0,19	0,20554805
4,1	0	0	0	0	0	0	0

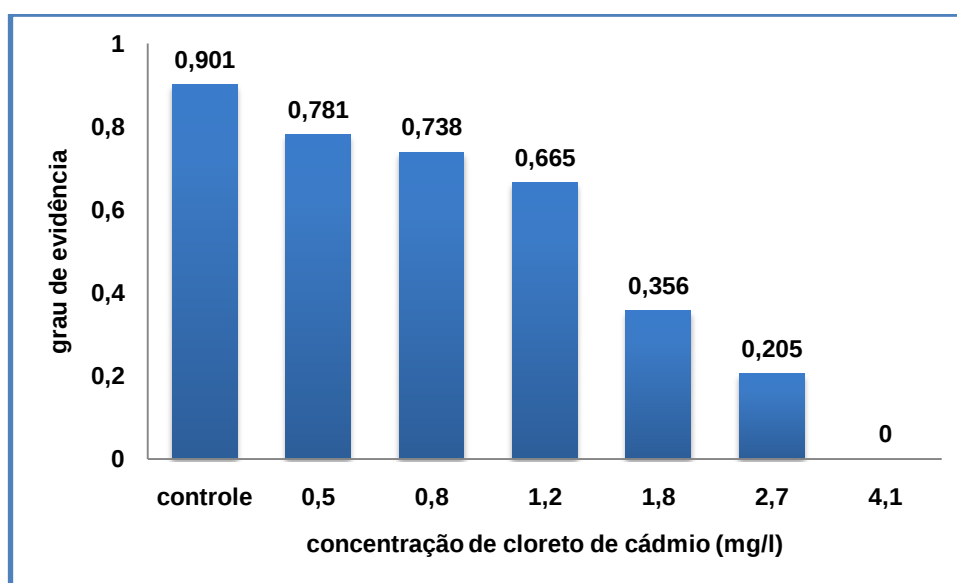


Figura 29 – Gráfico dos Graus de Evidência Resultantes da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. lixula* para cada uma das concentrações de cloreto de cádmio.

A posição dos Graus de Evidência Resultantes da sensibilidade do ouriço-do-mar para cada uma das concentrações de cloreto de cádmio, com o grau de certeza normalizado no intervalo $[0;1]$, pode ser visualizada nas figuras dos reticulados a seguir.

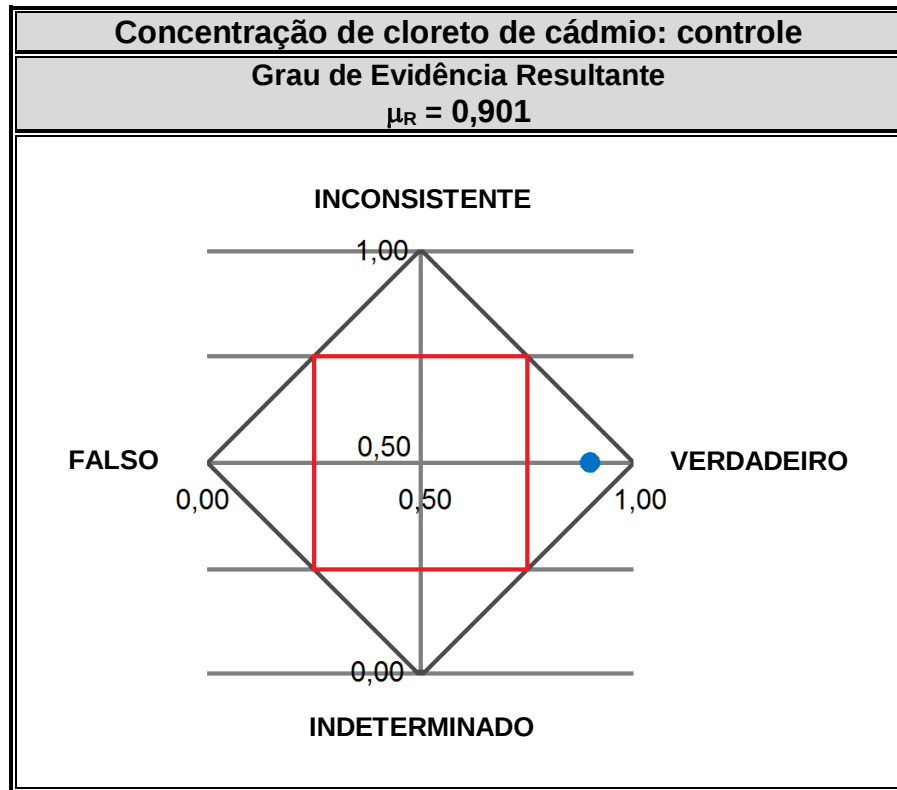


Figura 30 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. Lixula* para concentração de controle de cloreto de cádmio.

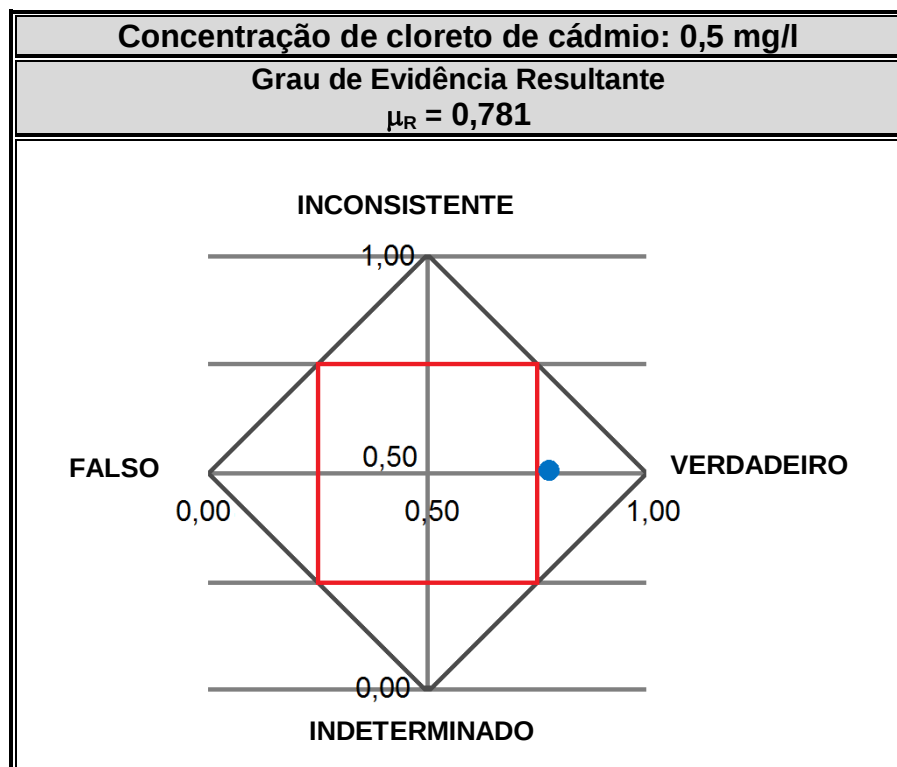


Figura 31 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. Lixula* para concentração de 0,5 mg/l de cloreto de cádmio.

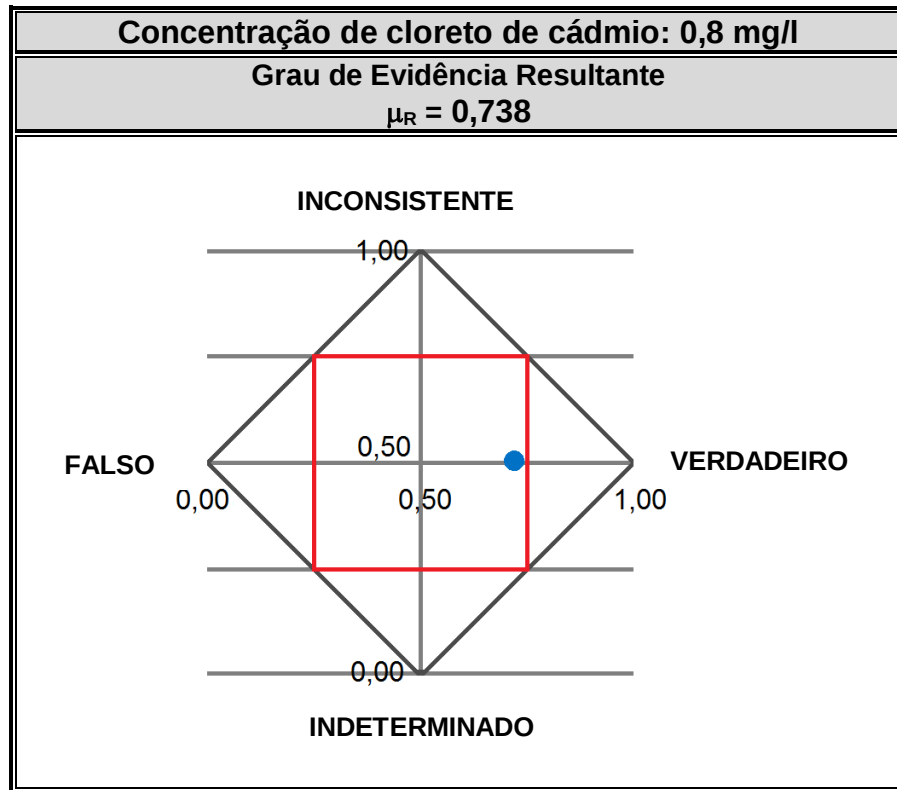


Figura 32 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. Lixula* para concentração de 0,8 mg/l de cloreto de cádmio.

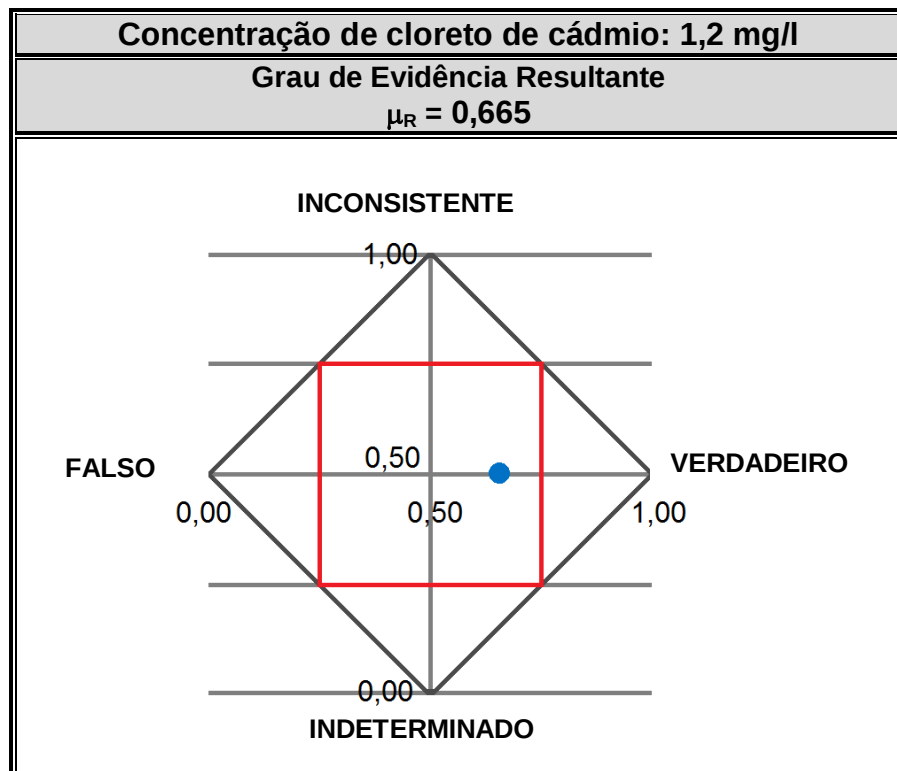


Figura 33 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. Lixula* para concentração de 1,2 mg/l de cloreto de cádmio.

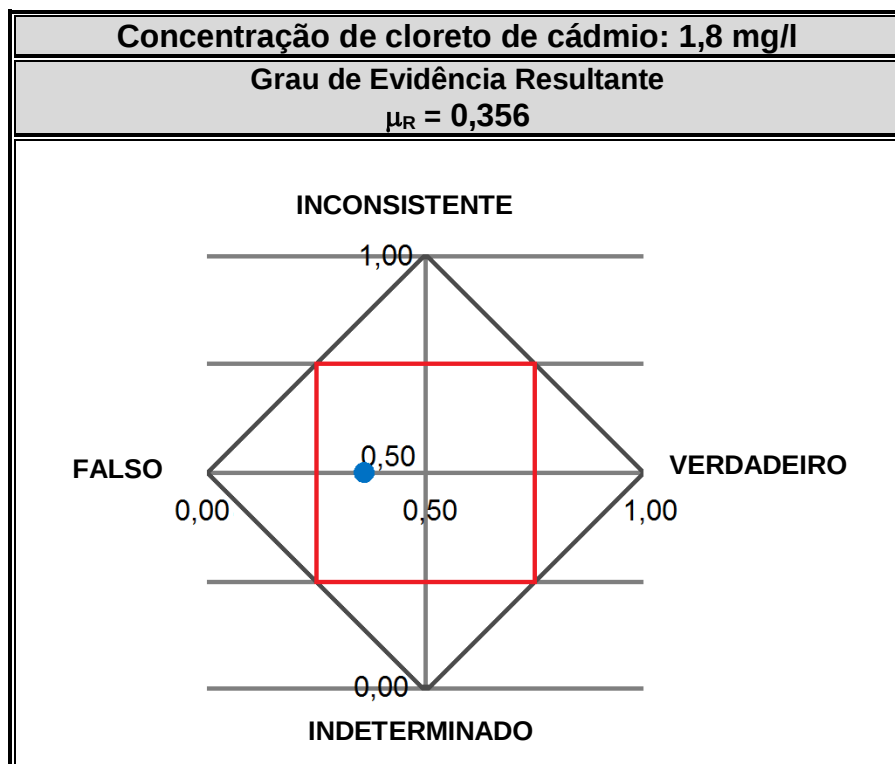


Figura 34 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. Lixula* para concentração de 1,8 mg/l de cloreto de cádmio.

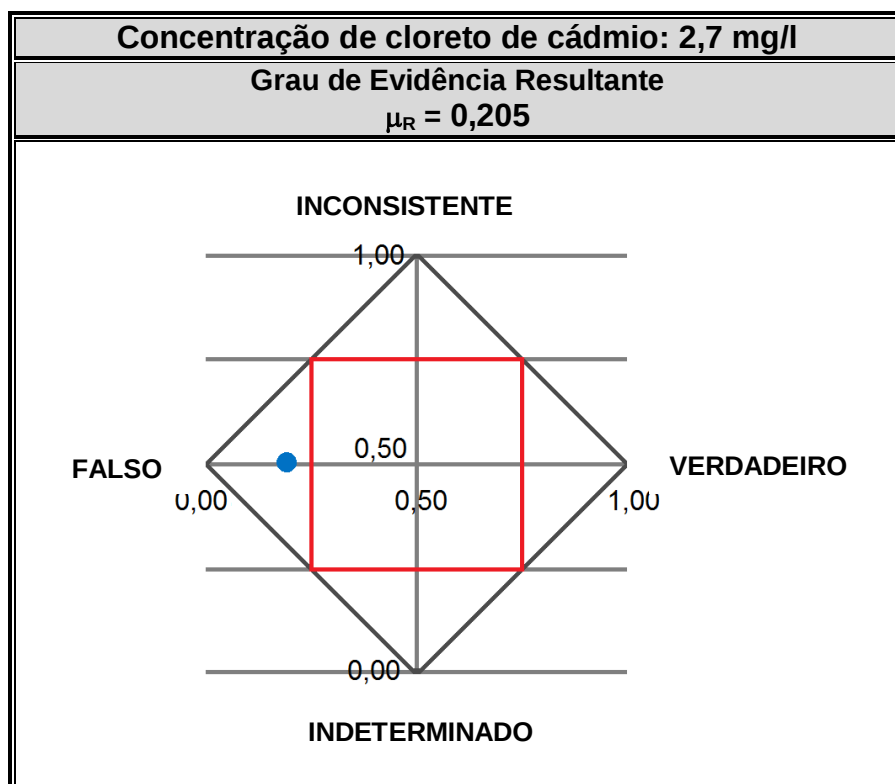


Figura 35 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. Lixula* para concentração de 2,7 mg/l de cloreto de cádmio.

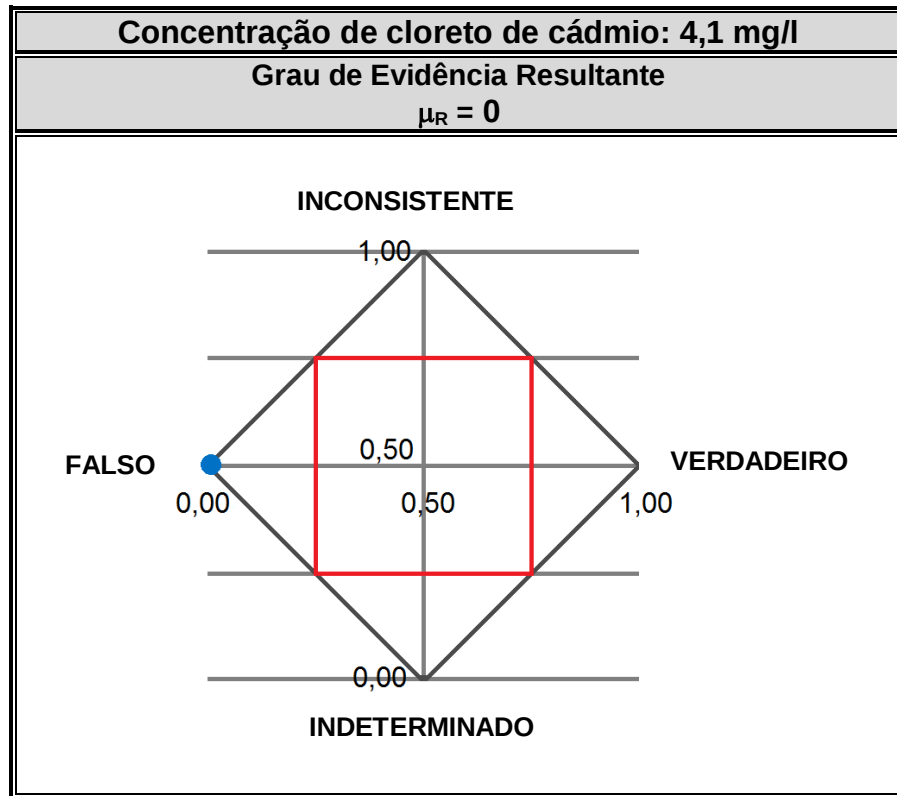


Figura 36 – Reticulado com o ponto do Grau de Evidência Resultante da sensibilidade do ouriço-do-mar *A. Lixula* para concentração de 4,1 mg/l de cloreto de cádmio.

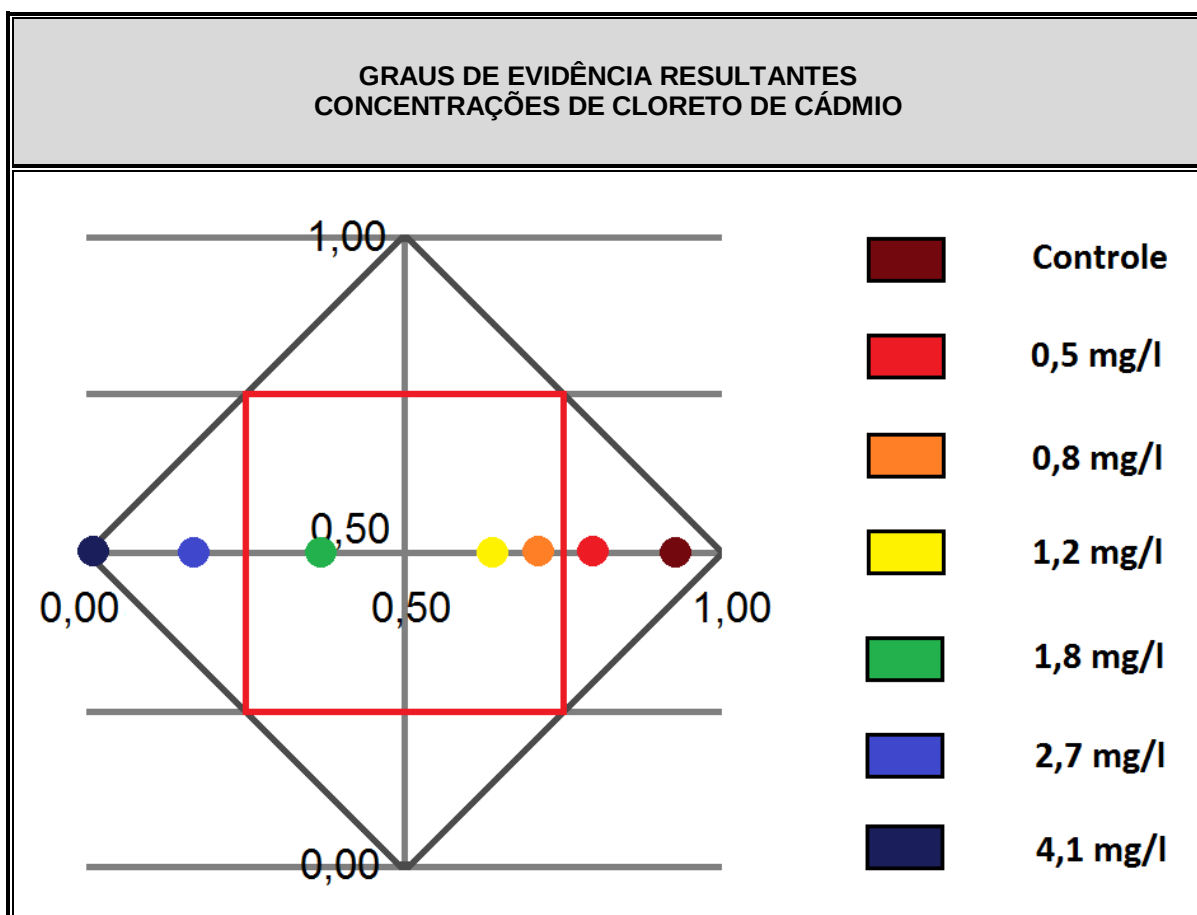


Figura 37 – Reticulado com os pontos dos Graus de Evidência Resultantes das concentrações de cloreto de cádmio.

3.4 DISCUSSÃO DO SEGUNDO EXEMPLO

3.4.1 AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DA POLUIÇÃO MARINHA DA BAÍA DE PORTMAN

Na tabela 7, estão expostos os resultados dos ensaios de toxicidade com ouriço-do-mar *A. lixula* para cada uma das réplicas e seu valor do Grau de Evidência, analisados através de métodos de lógica paraconsistente anotada. Constata-se que os valores dos Graus de Evidência estão sempre referenciados ao caso em que todos os embriões (100) de cada réplica têm desenvolvimento normal.

Para cada grupo de réplicas (R1-R4), formado pelos seus respectivos valores dos Graus de Evidência, foi extraído o efeito da contradição através da aplicação do Algoritmo *Paraextract*. Os valores resultantes do Grau de Evidência de cada conjunto de dados das réplicas, para cada estação de coleta, estão expostos na tabela 8 e no gráfico da figura 21.

Observa-se, na tabela 8, que os valores dos Graus de Evidência encontrados após a aplicação do algoritmo mostram que, após as análises paraconsistentes nas réplicas (R1-R4), concernente a cada uma das sete estações de coletas, as estações de *Punta Negra* e *Punta Galera*, em relação às demais estações, apresentaram alto índice de toxicidade devido ao desenvolvimento embriolarval alcançado ter Grau de Evidência nulo. A estação de *Punta Espada* apresentou menor índice de toxicidade pelo motivo do desenvolvimento embriolarval atingido ter maior Grau de Evidência, inclusive maior do que o Grau de Evidência da estação de Controle, *Isla Fraile*. Nota-se através do gráfico na figura 21, uma variação crescente dos Graus de Evidência das estações intermediárias, de *Cabo Negrete*, *Canto de la Manceba* e *Punta Loma Larga*, indicando que o índice de toxicidade vai diminuindo e formando um gradiente.

Os valores obtidos dos Graus de Evidência Resultantes (μ_R) de cada estação podem ser visualizados no mapa apresentado na figura 38.

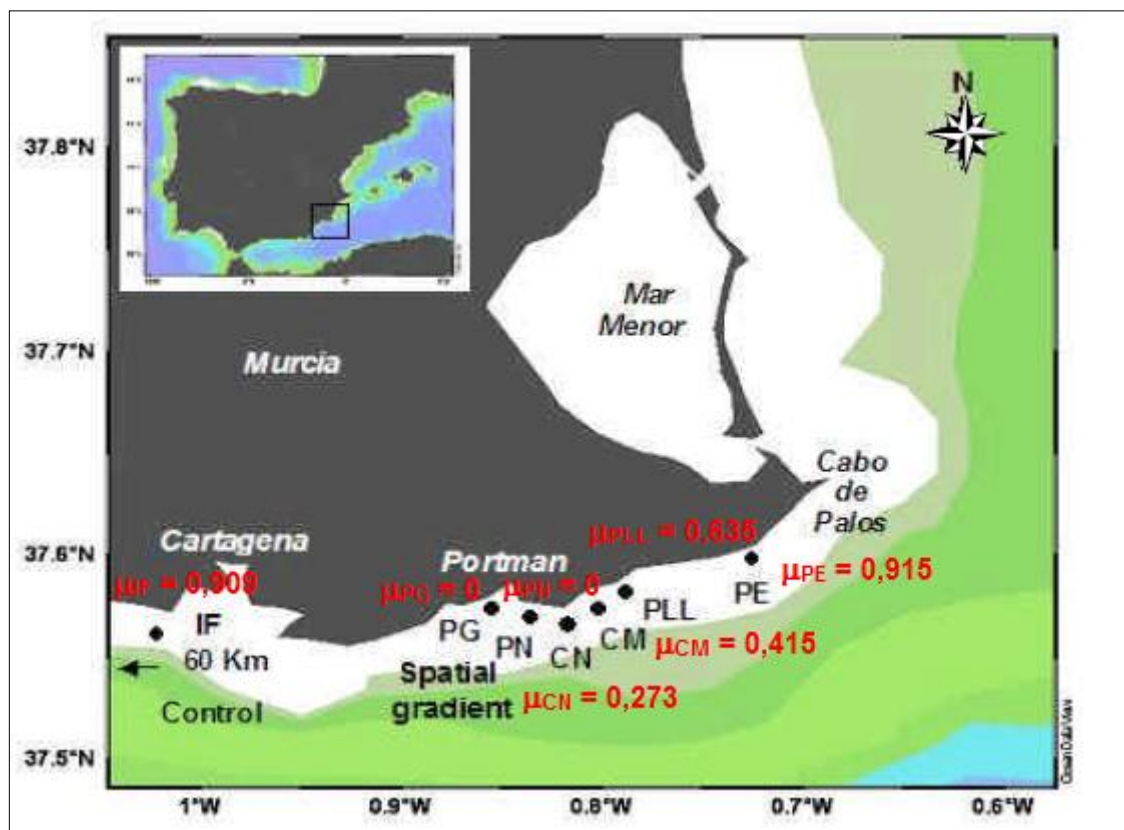


Figura 38 – Mapa das estações da baía de *Portman* com a identificação dos valores do Grau de Evidência Resultante em cada ponto.
Adaptado de Cesar (2003).

3.4.2 SENSIBILIDADE DE OURIÇOS-DO-MAR MEDITERRÂNEO A SUBSTÂNCIAS TÓXICAS DE REFERÊNCIA

Na tabela 10, estão expostos os resultados dos ensaios de sensibilidade com ouriço-do-mar *A. lixula* usando cloreto de cádmio como substância tóxica de referência para cada uma das réplicas e seu valor do Grau de Evidência, analisados através de métodos de lógica paraconsistente anotada. Os valores dos Graus de Evidência estão sempre referenciados ao caso em que todos os embriões (100) de cada réplica têm desenvolvimento normal.

Para cada grupo de réplicas (R1-R3), formado pelos seus respectivos valores dos Graus de Evidência, foi extraído o efeito da contradição através da aplicação do Algoritmo *Paraextract*. Os valores resultantes do Grau de Evidência de cada conjunto de dados das réplicas, para cada valor de concentração, estão expostos na última coluna da tabela 10 e no gráfico da figura 29.

Na tabela 10, pode ser constatado que os valores dos Graus de Evidência encontrados após a aplicação do Algoritmo apontam que, após as análises paraconsistentes nas réplicas (R1-R3), correspondentes a cada uma das sete concentrações analisadas, a sensibilidade do ouriço-do-mar *A. lixula* para cloreto de cádmio como substância tóxica de referência é máxima para 4,1 mg/l, pois o desenvolvimento embriolarval apresenta Grau de Evidência nulo. Também pode ser observado no gráfico da figura 29 que, para concentrações menores de cloreto de cádmio, a sensibilidade do ouriço-do-mar *A. lixula* diminui, pois os Graus de Evidência do desenvolvimento embriolarval são maiores.

3.4.3 Considerações Finais

Os resultados dos estudos apresentados neste trabalho evidenciam que os métodos de aplicações das Lógicas Paraconsistentes são métodos alternativos capazes de tratar adequadamente os resultados dos ensaios de toxicidade, pois os graus de evidência calculados indicam níveis de toxicidade similares aos encontrados nos trabalhos de Moraes, 2006 e Cesar, 2003.

A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA) tem sido aplicada em Ciência da Computação, Robótica, Inteligência Artificial etc. (ABE, 1997). De acordo com o exposto neste trabalho, verifica-se que a LPA estrutura algoritmos com bastante eficiência. Além dos resultados aqui obtidos, pode-se comprovar a potencialidade

dessa técnica para avaliar ensaios de toxicidade em Da Silva Filho *et al.*, 2009 e 2010, e mais recentemente, em Nogueira, 2013.

A utilização da LPA traz como principal característica o fato de que seus procedimentos são totalmente algorítmicos, de fáceis interpretações possibilitando a visualização mais abrangente dos resultados, conforme visto nas figuras dos reticulados.

4. CONCLUSÕES

Os ensaios de toxicidade constituem importantes ferramentas capazes de gerar dados que possam apontar, com clareza, o nível de degradação ambiental e, conseqüentemente, estabelecer prioridades para gestão e recuperação de áreas degradadas. No entanto, devido ao fato de coletar as informações por meio visual e a subjetividade que apresentam os meios estatísticos para elaborar os conceitos conclusivos, há necessidade, nesses processos de análises, de encontrar novas formas, capazes de efetuar interpretações e tratamentos dos dados de informação apoiados por sistemas computacionais. Para isso, os procedimentos de coleta, interpretação e análise devem ser subsidiados por algoritmos.

Com base nessas considerações, neste trabalho, foi investigado um novo método de analisar sinais de informação provenientes de processos ecológicos, que mostram conceitos capazes de oferecer procedimentos algorítmicos para subsidiar sistemas computacionais aplicados ao apoio e interpretação de dados. Toda a pesquisa baseou-se na utilização de técnicas estruturadas em lógica não-clássica que, em conjunto com os procedimentos estatísticos, visou ao aprimoramento de métodos e técnicas de investigação em processos que utilizam ensaios de toxicidade.

A Lógica não-clássica utilizada neste trabalho foi a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores, LPA2v, que apresenta como principal propriedade a capacidade de aceitar contradição em sua fundamentação. Com o objetivo de propor novas formas de tratamento dos dados originados em ensaios de toxicidade, utilizou-se os conceitos da LPA2v estruturados em algoritmos, e foram efetuados cálculos em duas fontes secundárias de diferentes graus de complexidade.

Nos dois casos foram feitas comparações de tratamento de dados para investigar se os resultados obtidos com a LPA2v se aproximaram daqueles obtidos com técnicas estatísticas.

Verificou-se que tanto no primeiro caso como no segundo, em que foram utilizadas técnicas estatísticas mais sofisticadas nas análises originais, a aplicação dos algoritmos da LPA2v respondeu de modo eficiente e com resultados muito próximos aos conseguidos pela estatística. Com isso, pode-se concluir que o

tratamento algorítmico e seus resultados são computacionalmente adequados à elaboração de métricas que, no futuro, serão comparadas às de outras pesquisas que englobam a utilização de ensaios de toxicidade com o ouriço-do-mar.

4.1 Vantagens e desvantagens da utilização da LPA2v

Nesta pesquisa, conclui-se que a utilização da LPA para a análise de dados provenientes de ensaios deste tipo traz como vantagem o fato de que seus procedimentos são totalmente algorítmicos, de fáceis interpretações. Este fato possibilita a visualização mais abrangente dos resultados, conforme pode ser visto nas figuras dos reticulados que indicam a localização dos Graus de Evidência.

Os procedimentos algorítmicos também facilitam a implantação de meios computacionais diretos para que análises possam ser efetuadas com rapidez e eficiência através de *software* dedicado (Sistemas Especialistas - SE) capazes de interpretar imagens larvas-embrionárias e produzir conclusões em tempo real.

Outra importante vantagem sobre a utilização dos algoritmos da LPA2v é que estes poderão facilmente ser interligados em redes de análises paraconsistentes, as quais novas evidências provenientes de outros tipos de ensaios relacionados à poluição marítima são agregadas, oferecendo maior robustez à análise e à conclusão final.

A desvantagem apresentada com a técnica que utiliza a LPA2v refere-se, ainda, à rara utilização desses conceitos não clássicos para as análises e interpretação de dados, nesses tipos de procedimentos em ensaios de toxicidade dificultando comparações com modelos de referências. Considerando-se que a Lógica Paraconsistente é uma teoria recente e, portanto, suas técnicas de utilização iniciaram-se há apenas duas décadas, as aplicações em que se poderia referenciar e utilizar resultados ainda são poucas.

Sabe-se, no entanto, que resultados como os encontrados nesta pesquisa mostram-se promissores para representar evidência de poluição marinha através de níveis de toxicidade e assim criar referências de trabalhos futuros. Portanto, apesar da rara aplicação, tudo leva a crer que, no futuro, os algoritmos da LPA2v poderão estruturar programas computacionais capazes de oferecer um processo automático e que, assim, possibilite uma rápida análise sobre a degradação do meio ambiente, priorizando as ações que visam à proteção dos ecossistemas costeiros marinhos.

4.2 TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa abre novas investigações para sustentar a validação da aplicação dos algoritmos da LPA2v nessa área do conhecimento.

Os principais trabalhos que poderão ser desenvolvidos ainda neste campo de aplicação da LPA2v estão listados a seguir:

1. Aplicar o algoritmo da LPA2v em outros resultados relacionados a outras fontes secundárias ou fontes de evidências que utilizam as técnicas do ensaio de toxicidade com ouriço-do-mar.
2. Aplicar os algoritmos estatístico/paraconsistente em resultados de coletas de fontes diferentes e efetuar comparação de resultados com análises puramente estatísticas.
3. Investigar formas de obtenção de métricas de modo a estabelecer valores para coletas de diferentes locais e de diferentes datas agregando valores aos ensaios toxicológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, J. M. **Fundamentos da Lógica Anotada (Foundations of Annotated Logics)**, (in Portuguese) Ph. D. Thesis, University of São Paulo, São Paulo, 1992.

ABE, J. M. **Some Aspects of Paraconsistent Systems and Applications, Logique et Analyse**, 157, 83-96, 1997

ABE, J. M. **Paraconsistent Artificial Neural Networks: an Introduction**, *Lecture Notes In Artificial Intelligence* 3214, Springer, Eds. J.G. Carbonell & J. Siekmann, ISSN 0302-9743, ISBN 3-540-23206-0, pp. 942-948, 2004.

ABNT NBR 15350. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica de curta duração – Método de ensaio com ouriço do mar (*Echinodermata: Echinoidea*)**. 2006.

ADAMS, W. J.; KIMERLE, R.A. & MOSHER, R.G. **Aquatic safety assessment of chemicals sorbed to sediments**. In: *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: 7th Symposium*, STP 854, R.D. Cardwell, R. Purdy & R.C. Bahner (eds.). Philadelphia, American Society for Testing and Materials, p. 429-453. (1985).

ANDERSON *et al.* **Influence of sample manipulation on contaminant flux and toxicity at the sediment-water interface**. *Marine Environment Research*. 51 (2001) 191-211. 2001.

BURTON Jr., G. A. **Assessing contaminated aquatic sediments**. *Environmental Science and Technology* 26 (10), 1862–1875. 1992.

CESAR, A. **Análises ecotoxicológico integrado de la contaminación marina en los sedimentos de la costa de Murcia: el caso de Portmán, sudeste – España**. Tese de Doutorado. Universidade de Múrcia. Espanha. 2003. 232p.

CESAR, A.; MARÍN, A.; MARÍN-GUIRAO, L. & VITA, R. **Amphipod and sea urchin tests to assess the toxicity of Mediterranean sediments: the case of Portmán Bay**. *Scientia Marina*, 2004. No 68 (suppl. 1); 205-213p.

CESAR, A.; MARÍN-GUIRAO, L.; VITA, R.; MARÍN, A. **Sensibilidad de anfípodos y erizos del Mar Mediterráneo a substâncias tóxicas de referência**. *Ciencias Marinas*. (2002), 28(4): 407-417p.

CESAR, A.; PEREIRA, C. D. S.; SANTOS, A. R.; ABESSA, D. M. S.; FERNÁNDEZ, N.; CHOUERI, R. B. & DELVALLS, T. A. **Ecotoxicological assessment of sediments from Santos and São Vicente estuarine system – Brazil**. *Brazilian Journal of Oceanography*. (No prelo) 2005.

CESAR, A. *et al.* **Ecotoxicological assessment of sediments from the Santos and São Vicente Estuarine System – Brazil**. *Brazilian Journal of Oceanography*. 54(1): 55-63. 2006.

CETESB. **Água do mar – Teste de toxicidade crônica de curta duração com *Lytechinus variegatus* Lamarck, 1816 (Echinodermata: Echinoidea)**. Norma Técnica L5.250. São Paulo, CETESB, 1999.

CETESB. **Sistema estuarino de Santos e São Vicente**. Relatório. 2001. 177p.

DA COSTA, N. C. A. & HENSCHEN, L. J. & LU, J. J. & SUBRAHMANIAN, V. S., **Automatic Theorem Proving in Paraconsistent Logics: Theory and Implementation**. Estudos Avançados- Coleção Documentos N003, USP, São Paulo, 1990.

DA COSTA, N. C. A., **Sistemas formais inconsistentes**, Editora UFPR, 1993.

DA SILVA Filho, J. I. Da Silva & J. M. Abe, **Fundamentos das Redes Neurais Paraconsistentes – Destacando Aplicações em Neurocomputação**, (*in Portuguese*) Editora Arte & Ciência, ISBN 85-7473-045-9, 247 pp., 2001.

Da Silva Filho, J. I., Lambert-Torres, G., Abe, J. M. **Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes – Teoria e Aplicações** – Editora GEN-LTC - ISBN: 8521616317, 2009

DA SILVA FILHO, J. I. et al. **An Expert System Structured in Paraconsistent Annotated Logic for Analysis and Monitoring of the Level of Sea Water Pollutants**, *in: Expert Systems for Human, Materials and Automation*, Petrică Vitureanu (Ed.), ISBN 978-953-307-334-7, InTech, October 2011, 392 p.

Da Silva Filho, J.I.; Mario, M. C.; Correia, C. M.; Agari, A. C.; Garcia, D. V. **Analysis and Monitoring of the Level of Sea Water Pollutants with a Expert System Structured with Paraconsistent Annotated Logic**, WSEAS International Conference in Environment, Ecosystems and Development, 7th, WSEAS International Conference in Environment, Ecosystems and Development; 30-37WSEAS , ISBN 9789604741427, Spain, 2009.

DA SILVA FILHO, J. I. **Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v com construção de Algoritmo e Implementação de Circuitos Eletrônicos**. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

Environment Canada. 1992. **Biological test method: Fertilization assay using echinoids (sea urchins and sand dollars)**, amended November 1997. EPS 1/RM/27. North Vancouver, BC, p. 97.

Gulley, D. D., Boelter, A. M. and Harold, L. B. 1991. **TOXSTAT® Computer program, version 3.3**. University of Wyoming, Laramie, WY.

MORAIS, R. D., **Avaliação da toxicidade dos sedimentos nas áreas de descarte dos emissários submarinos de Praia Grande, Santos e Guarujá**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Santa Cecília, 2006.

NASCIMENTO, I. A.; SOUZA, E. Ceci P. M.; NIPPER, M.. **Métodos em ecotoxicologia marinha**. São Paulo: Artes Gráficas e Industrias Ltda, 2002. 262p.

NOGUEIRA, L. F. G. **Estudo de formas de tratamento de dados ecotoxicológicos utilizando a lógica não clássica no monitoramento do mexilhão perna perna**. Santos: UNISANTA, 2013. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Universidade Santa Cecília, Santos, 2013.

Pearl, J., **Artificial Intelligence**, Belief networks revisited, vol.59, pp. 49-56, Amsterdam, 1993.

PRÓSPERI, V. A. **Comparação de métodos ecotóxicológicos na avaliação de sedimentos marinhos e estuarinos**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos. 2002.

PUSCEDDU, F. H. e ALEGRE, G. F. **Avaliação Ecotoxicológica dos Sedimentos do Complexo Estuarino de Santos e São Vicente**, Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Santa Cecília, como parte dos requisitos para obtenção de título de Bacharel em Ciências Biológicas, Santos – SP, dezembro, 2005.

RACHID, B. R. F. **Ecotoxicidade de efluentes sanitários urbanos lançados ao mar através de emissários submarinos, no Estado de São Paulo**. Master of Science Dissertation. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 95p. 1996.

RAND, G.M. & PETROCELLI, S. R. (ed) **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications**. Hemisphere Publishing - Washington, USA. 666p. (1985).

SPENGLER, A. & COSTA, M. F. 2008. **Methods applied in the studies of benthic marine debris**. Marine Pollution Bulletin 56: 226-230.

SUBRAHMANIAN, V. S., **Towards a Theory of evidential Reasoning in Logic Programming**, Logic Colloquium '87, The European Summer Meeting of the Association for Symbolic Logic, Granada Spain, 1987.

SWARTZ, N. and *et al.* **Sediment toxicity and the distribution of the amphipods in Commencement Bay**, Washington, USA. *Mar. Pol. Bull.*, 113: 359-364. 1982.

U. S. Environmental Protection Agency. 1994. **Methods for assessing the toxicity of sediment-associated contaminants with estuarine and marine amphipods**. EPA/600/-94/025, Narragansett, Rhode Island 02882.

U. S. EPA, 1995, **Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to west coast marine and estuarine organisms**. First edition (EPA/600/R-95-136).

U. S. EPA. **A Compendium of Chemical, Physical and Biological Methods for Assessing and Monitoring the Remediation of Contaminated Sediment Sites**
EPA Contract No. 68-W-99-033 Work Assignment 4-20. 2003.