

**RAE-CEA 14P17**

**Variação da qualidade da água subterrânea para abastecimento público em  
áreas urbanas industrializadas**

**Bernardo Franco Reimann**

**Carlos Alberto de Bragança Pereira**

**Marcelo Figueiredo de Almeida**

**São Paulo, Novembro de 2014**

## **CENTRO DE ESTATÍSTICA APLICADA – CEA – USP**

### **RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA**

**TÍTULO:** Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Variação da qualidade da água subterrânea para abastecimento público em áreas urbanas industrializadas”.

**PESQUISADOR:** Paulo Roberto Penalva dos Santos

**ORIENTADOR:** Profº. Wanderley da Silva Paganini

**INSTITUIÇÃO:** Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo

**FINALIDADE DO PROJETO:** Doutorado

#### **RESPONSÁVEIS PELA ANÁLISE:**

Bernardo Franco Reimann

Profº. Carlos Alberto de Bragança Pereira

Marcelo Figueiredo de Almeida

**REFERÊNCIA DESTE TRABALHO:** REIMANN, B. F., PEREIRA, C. A. B., ALMEIDA, M. F., **Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Variação da qualidade da água subterrânea para abastecimento público em áreas urbanas industrializadas”**. São Paulo. IME-USP, 2014 (RAE-CEA 14P17).

## FICHA TÉCNICA

### REFERÊNCIAS:

- SHIKLOMANOV, I. A. (1998). World Water Resources - A New Appraisal and Assessment for the 21st Century. **United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO**, Paris.
- CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment (2001). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0. **Technical Report, Canadian Council of Ministers of the environment winnipeg, Canada**

### PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS:

Microsoft Excel for Windows ®, versão 2007

Microsoft Word for Windows ®, versão 2007

Software R (versão 3.0.2)

SAS Enterprise Guide (versão 5.1)

### TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS:

Análise Descritiva Unidimensional (03:010)

### ÁREAS DE APLICAÇÃO:

14:990 Outros

## **Sumário**

Resumo.....	05
1. Introdução.....	06
2. Objetivos do Estudo.....	07
3. Descrição do Estudo.....	07
4. Descrição das Amostras e Variáveis.....	08
5. Análise Descritiva.....	09
6. Indicador de Qualidade de Água.....	20
7. Conclusão.....	32
Apêndice A – Tabelas.....	34
Apêndice B – Gráficos.....	38

## **Resumo**

O monitoramento da qualidade das águas para o consumo humano é essencial para evitar agravos à saúde das populações abastecidas. Em áreas industriais abastecidas com água subterrânea provenientes de poços, este monitoramento é muito importante para prevenir e apontar possíveis contaminações e assim permitir que esses mananciais sejam explorados de forma segura e sustentável. O objetivo desse estudo é desenvolver um novo índice de avaliação de águas subterrâneas para áreas industriais. Ele será aplicado em conjunto com outros indicadores de qualidade de água já existentes para auxiliar na gestão dos sistemas públicos de abastecimento.

## 1. Introdução

Água subterrânea é toda água existente abaixo da superfície. Com a precipitação, a água que atinge o solo é submetida à força da gravidade e se infiltra, preenchendo os poros e fissuras das rochas sedimentares. Embora essas águas estejam armazenadas em pequenos espaços entre as rochas, elas ocorrem em grandes extensões, sendo aproximadamente 100 vezes mais abundantes do que as águas de superfície presentes em lagos e rios (SHIKWMANOV, 1998).

O desequilíbrio cada vez maior entre a oferta e a demanda de água dos mananciais superficiais tem contribuído para o aumento do uso das reservas aquíferas subterrâneas tanto no abastecimento público como industrial. Contudo, o descontrole na perfuração dos poços associados a atividades antrópicas e industriais têm potencializado os riscos de contaminação.

Nos grandes centros urbanos brasileiros, o modelo inadequado de urbanização e industrialização das últimas décadas tem provocado impactos negativos nos recursos hídricos. Essas regiões apresentam maiores riscos de contaminação das águas subterrâneas devido ao uso e ocupação do solo de forma inapropriada e a falta de uma gestão sustentável. Muitos mananciais estão contaminados por compostos orgânicos, metais pesados, fármacos, produtos de higiene pessoal, hormônios e vitaminas. Essas contaminações têm como possíveis consequências o agravamento nas condições da saúde humana e a degradação dos ecossistemas.

Como exemplos de regiões afetadas pela intervenção humana, temos na região metropolitana de Salvador as cidades de Camaçari e Dias D'Ávila, ambas com abastecimento público e industrial de água proveniente do manancial subterrâneo. Está localizado entre essas cidades o polo industrial de Camaçari, o maior polo industrial integrado da América Latina; as indústrias da região vêm necessitando de vazões de águas cada vez maiores. Esse cenário associado ao aumento crescente da densidade demográfica e a falta de saneamento adequado vem colocando em risco a saúde das populações da região que se utilizam da água subterrânea como fonte de abastecimento.

Torna-se imprescindível, portanto, a avaliação da qualidade das águas nas regiões metropolitanas por meio de uma metodologia que possa contribuir para uma gestão sustentável desses mananciais e oferecer um auxílio para a elaboração de novas políticas públicas para o enfrentamento e redução desses problemas.

## **2. Objetivos do Estudo**

O objetivo principal do estudo é desenvolver um novo índice de qualidade da água com o intuito de auxiliar os gestores dos sistemas públicos de abastecimento a explorarem de forma segura os mananciais, evitando assim agravos à saúde humana em áreas urbanas próximas a polos industriais.

O novo índice de avaliação de águas subterrâneas é aplicado conjuntamente com o indicador de qualidade Canadian Council of Ministers of Environment (CCME, 2001), assegurando assim um maior controle da qualidade da água. O objetivo é garantir que o uso dessas águas para o abastecimento público ocorra de forma segura, evitando agravos à saúde das populações.

Como objetivo secundário, analisamos a qualidade da água subterrânea de poços localizados na região do polo industrial de Camaçari utilizada para abastecimento público no período de 2000 a 2012.

## **3. Descrição do Estudo**

Esse estudo, de caráter exploratório e experimental, abrange a região do polo industrial de Camaçari. A escolha dessa região foi motivada pela presença de indústrias de diversos segmentos; por exemplo, química, petroquímica, automotiva, de bebidas, celulose, metalurgia, fertilizantes, têxtil entre outras. Além disso, essa região está situada em um local com alta potencialidade hídrica, que além de fornecer água para as indústrias, abastece também as populações de várias cidades sendo uma região de grande produção de “água mineral”.

Os mananciais da região do polo industrial de Camaçari são interconectados com mananciais superficiais que abastecem parte da Grande Salvador e estão próximos de outros complexos industriais. Portanto, trata-se de uma região onde o cuidado com a qualidade da água é muito importante para prevenir à contaminação dos municípios vizinhos, devido a presença de diversas indústrias.

Nesse estudo, foram considerados apenas os poços que no passado ou atualmente, são utilizados no abastecimento público; isto é, aqueles explorados para o abastecimento humano, os usados na exploração de água mineral e os usados em cervejarias e na fabricação de fármacos.

Os dados analíticos dos poços utilizados nesse estudo são secundários, e, portanto, não tiveram um direcionamento específico para o objetivo geral do estudo. Entretanto, quanto à condução na obtenção desses dados, todos foram coletados seguindo protocolos metodológicos recomendados por órgãos nacionais e internacionais.

#### **4. Descrição das Amostras e Variáveis**

As coletas das amostras de água ocorreram em 26 poços tubulares, 12 localizados na cidade de Camaçari e os demais 14 poços na cidade de Dias d'Ávila. Nessas amostras de água foi observado um total de 174 parâmetros de concentração de compostos orgânicos (136) e inorgânicos (28), físico-químicos (8) e micro-organismos (2). Todos os parâmetros coletados e suas respectivas naturezas estão apresentados na Tabela A.1 (Apêndice A).

As metodologias para o controle de qualidade das amostragens e das análises químicas estão de acordo com os instrumentos normativos estabelecidos por organismos técnicos nacionais e internacionais. Todos os laboratórios utilizados nas análises químicas possuem selos de qualidade: ISO14001, Norma ISO/IEC 17025, ISO9001 e OHSAS 18001.



Para a verificação da potabilidade da água serão utilizados como critério de comparação os limites estabelecidos nas legislações da Portaria nº 2.914/11 M.S, OMS/2011, USEPA/2009 e CANADA/2012.

Por se tratarem de dados secundários surgem diversas dificuldades para analisá-los: não há uniformidade nas datas de medições, tampouco nos parâmetros medidos em cada coleta.

## 5. Análise Descritiva

Foram coletados um total de 174 parâmetros distintos da água, esses parâmetros e suas naturezas estão listados na Tabela A.1. Podemos verificar na Tabela 1 que nem todos os parâmetros foram medidos para todos os poços.

Tabela 1 – Descritiva dos Poços

Poço	Bateria (Região do Poço)	Cidade	Quantidade de Parâmetros Medidos	Quantidade de Medidas no Tempo
PP-122/01	122	Camaçari	128	19
PP-122/02	122	Camaçari	127	19
PP-122/03	122	Camaçari	127	18
PP-122/04	122	Camaçari	121	17
PP-122/05	122	Camaçari	121	17
PP-122/06	122	Camaçari	77	1
PP-123/02	123	Dias D'Ávila	124	12
PP-123/03	123	Dias D'Ávila	48	1
PP-123/04	123	Dias D'Ávila	128	13
PP-123/05	123	Dias D'Ávila	68	12
PP-123/06	123	Dias D'Ávila	128	17
PP-123/07	123	Dias D'Ávila	69	15
PP-123/08	123	Dias D'Ávila	42	6
PP-124/01	124	Dias D'Ávila	63	12
PP-124/02	124	Dias D'Ávila	132	17
PP-124/03	124	Dias D'Ávila	133	19
PP-127/01	127	Dias D'Ávila	68	5
PP-127/02	127	Dias D'Ávila	59	3
PP-127/03	127	Dias D'Ávila	60	6
PP-127/04	127	Dias D'Ávila	134	13

<b>PP-140/01</b>	140	Camaçari	123	24
<b>PP-140/02</b>	140	Camaçari	123	16
<b>PP-142/01</b>	142	Camaçari	128	10
<b>PP-142/02</b>	142	Camaçari	122	7
<b>PP-142/03</b>	142	Camaçari	39	3
<b>PP-47/15</b>	47	Camaçari	121	22

Não houve uniformidade na coleta dos dados, isto é, em cada instante de tempo, os parâmetros medidos não foram os mesmos. Assim, para que os poços se tornem comparáveis, primeiramente tivemos que selecionar parâmetros adequados para serem considerados no estudo.

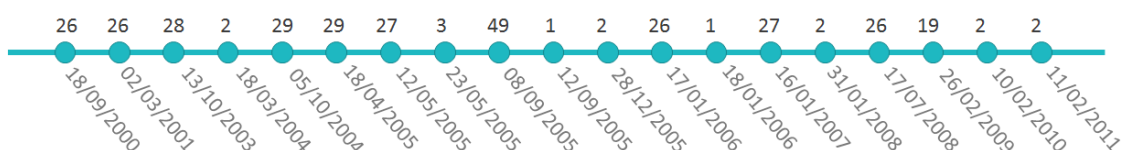
Para selecionar os parâmetros seguimos, primeiramente, a orientação do pesquisador para a escolha de quais eram aplicáveis ao objetivo do estudo. Após retirarmos os parâmetros não aplicáveis ficamos com um total de 79 parâmetros.

Em seguida, verificamos quais desses 79 parâmetros tinham os limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/11 M.S, OMS/2011, USEPA/2009 e CANADA/2012. Os parâmetros que não são legislados também foram retirados da análise, restando assim 52 parâmetros.

Caso um parâmetro tenha mais de um limite estabelecido nas legislações iremos sempre dar preferência para a legislação brasileira da Portaria nº 2.914/11 M.S. Caso o parâmetro não tenha um limite definido pela Portaria fomos conservadores e mantivemos o limite mínimo entre as demais legislações.

As intersecções entre os 52 parâmetros restantes nas datas de coleta foram pequenas, como podemos ver no exemplo da Figura 1 que apresenta o número de parâmetros medidos, em cada data de coleta.

Figura 1 – Quantidade de parâmetros medidos no poço PP 122/01 na linha do tempo



Para aumentar o número de intersecções entre os parâmetros, o pesquisador sugeriu um agrupamento dos poços em baterias – baterias são as regiões onde os poços estão localizados – e em triênios. Na Tabela 1 temos a relação dos poços que compõem cada uma das sete baterias. Como temos dados entre 2000 e 2011, teremos os seguintes triênios: 2000-2002, 2003-2005, 2006-2008, 2009-2011.

Com esse novo agrupamento houve então uma intersecção de 27 parâmetros em todas as baterias e triênios. Esses parâmetros estão listados na Tabela 2. Caso existisse mais de uma medida de um parâmetro na mesma bateria e no mesmo triênio considerou-se o maior valor medido.

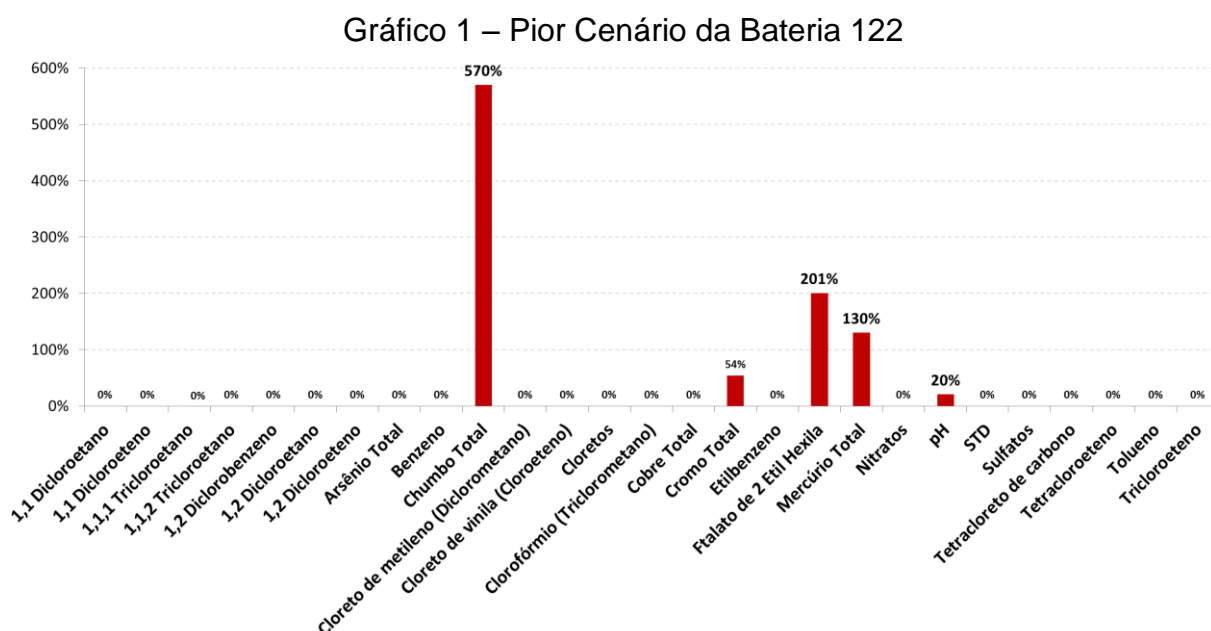
Tabela 2 – Parâmetros selecionados para o estudo

<b>Variável</b>	<b>Limite Máximo Permitido</b>	<b>Unidade</b>
<b>1,1 Dicloroetano</b>	10	µg/L
<b>1,1 Dicloroeteno</b>	30	µg/L
<b>1,1,1 Tricloroetano</b>	200	µg/L
<b>1,1,2 Tricloroetano</b>	5	µg/L
<b>1,2 Diclorobenzeno</b>	10	µg/L
<b>1,2 Dicloroetano</b>	10	µg/L
<b>1,2 Dicloroeteno</b>	50	µg/L
<b>Arsênio Total</b>	0,01	mg/L
<b>Benzeno</b>	5	µg/L
<b>Chumbo Total</b>	0,01	mg/L
<b>Cloreto de metileno (Diclorometano)</b>	20	µg/L
<b>Cloreto de vinila (Cloroeteno)</b>	2	µg/L
<b>Cloretos</b>	250	mg/L
<b>Clorofórmio (Triclorometano)</b>	300	µg/L
<b>Cobre Total</b>	2	mg/L
<b>Cromo Total</b>	0,05	mg/L
<b>Etilbenzeno</b>	200	µg/L
<b>Ftalato de 2 Etil Hexila</b>	8	µg/L
<b>Mercúrio Total</b>	0,001	mg/L
<b>Nitratos</b>	10	mg/L
<b>Sulfatos</b>	250	mg/L
<b>Tetracloreto de carbono</b>	4	µg/L
<b>Tetracloroeteno</b>	40	µg/L
<b>Tolueno</b>	170	µg/L

<b>Tricloroeteno</b>	20	µg/L
<b>pH</b>	6,5-8,5	Unidade de pH
<b>STD</b>	1000	mg/L

Com os 27 parâmetros selecionados podemos verificar como se comporta a qualidade da água nos quatro triênios.

Começando a análise pela Bateria 122, o Gráfico 1 ilustra o pior cenário desta bateria entre os anos de 2000 e 2011, este gráfico mostra quanto os maiores valores medidos na série histórica excedem os limites estabelecidos pelas legislações, seguindo o critério do limite definido anteriormente.

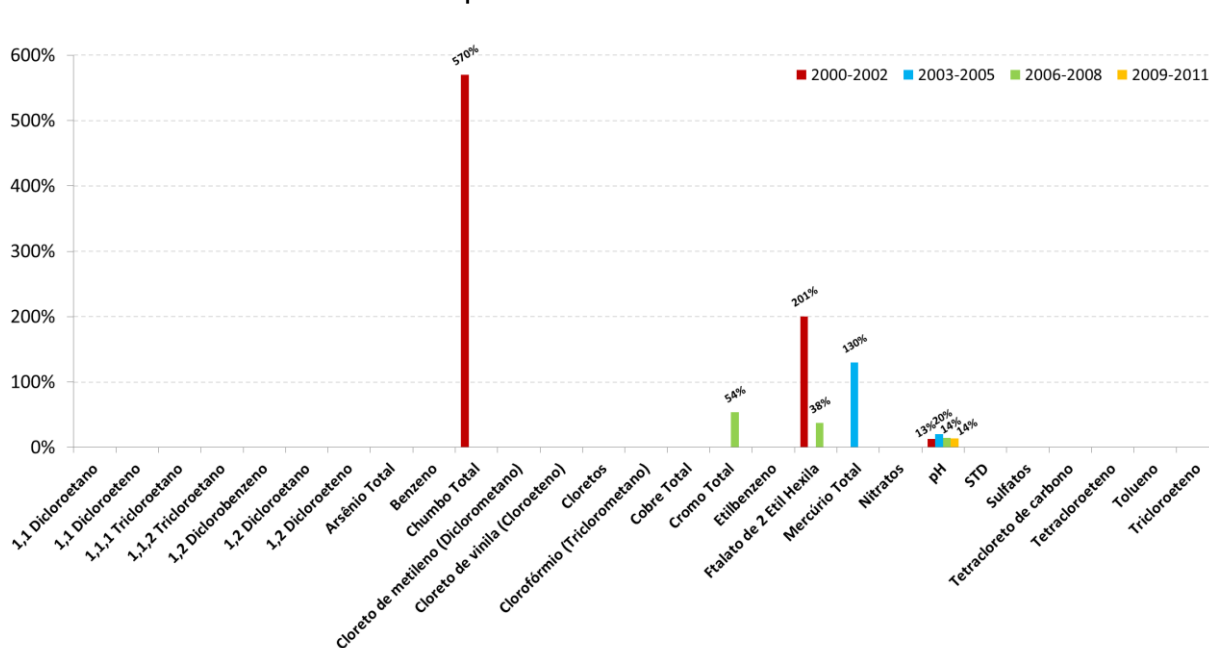


Observando o Gráfico 1, nota-se 5 pontos em que valores medidos excedem o limite máximo. Como ponto de destaque observamos o Chumbo Total que excedeu em 570% o limite; ou seja, o valor máximo permitido segundo a Portaria nº 2.914/11 M.S, como podemos verificar na Tabela 2, é de 0,01 mg/L e o valor medido foi de 0,067 mg/L. Por ser um metal que pode trazer muitos danos à saúde humana deve-se olhar a Bateria com certa preocupação. Além do Chumbo Total observam-se outros parâmetros que excedem os limites; o Cromo

Total em 54%, Ftalato de 2 Etil Hexila em 201%, Mercúrio Total em 130% e o pH abaixo do limite mínimo em 20%.

Para verificar se os limites excedidos foram casos isolados no tempo, o Gráfico 2 ilustra os valores dos parâmetros nos Triênios.

Gráfico 2 – Comportamento da Bateria 122 nos triênios



Com a abertura do gráfico em triênios, têm-se indicações de que o caso do Chumbo Total e do Mercúrio Total foram casos isolados no tempo, pois cada parâmetro teve apenas uma medida excedendo o limite; o Chumbo no primeiro triênio e o Mercúrio no segundo. Fora estas observações, esses parâmetros não apresentaram mais inconformidades nos dois últimos triênios observados.

No caso do pH, as medidas ficaram fora do limite entre 6,5 – 8,5 nos quatro períodos de tempo, todas as medidas ficaram abaixo dos 6,5, isso significa que a água é mais ácida do que o permitido. Na Tabela 3 podemos observar a média trienal das medições de pH nos poços da Bateria 122.

Tabela 3 – Média das medições de pH dos poços da na Bateria 122 por triênios

Poço	2000-2002	2003-2005	2006-2008	2009-2011
PP-122/01	5,80	5,77	5,85	5,68
PP-122/02	5,70	5,53	5,71	5,61
PP-122/03	5,94	5,66	5,67	5,57

<b>PP-122/04</b>	5,43	5,23	5,38	5,48
<b>PP-122/05</b>	5,65	5,79	5,75	5,65
<b>PP-122/06</b>			6,35	

A Tabela 3 nos permite observar que as médias estão todas abaixo de 6,5, mostrando que, como esperado, toda a região tem um comportamento parecido quando analisamos a acidez da água. Isso pode ocorrer devido a formação do solo da região ou devido a alguma intervenção humana.

O parâmetro químico orgânico Ftalato de 2 Etil Hexila é muito utilizado nas indústrias como um aditivo para tornar o plástico mais maleável. Pelo Gráfico 2 notamos que esse parâmetro apresentou duas inconformidades, a primeira no triênio 2000-2002 e a segunda no 2006-2008, houve uma redução de 163% entre os dois triênios. O parâmetro Cromo Total aparece com concentração elevada no penúltimo triênio da bateria 122 e volta a ficar abaixo do limite no último triênio.

Os demais gráficos de pior cenário e comportamento nos triênios para cada bateria, semelhante ao Gráficos 2, encontram-se no Apêndice B. Observando os gráficos podemos notar que o parâmetro Ftalato de 2 Etil Hexila apresenta índices elevados em 5 das 7 baterias estudadas, com destaque para a Bateria 142 como mostra o Gráfico B.12.

O Ftalato de 2 Etil Hexila está 3018% acima do permitido no pior cenário da Bateria 142, é o parâmetro com a maior proporção acima do limite. Todas as Baterias da cidade de Camaçari e apenas uma Bateria de Dias D'Ávila apresentaram inconformidades nesse parâmetro, isso pode ser resultado da alta concentração de indústrias de plástico na cidade de Camaçari.

Nos gráficos de comportamento das baterias durante os triênios presentes no apêndice B, observamos altas concentrações de Chumbo nas baterias 47, 123, 124, 127 e 140.

Tabela 4 – Quantidade de baterias medidas por parâmetro e proporção de inconformidades

<b>Parâmetros</b>	<b>2000-2002</b>	<b>2003-2005</b>	<b>2006-2008</b>	<b>2009-2011</b>
<b>1,1 Dicloroetano</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	6 / 0%
<b>1,1 Dicloroetano</b>	1 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>1,1,1 Tricloroetano</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	1 / 0%

<b>1,1,2 Tricloroetano</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	6 / 0%
<b>1,2 Diclorobenzeno</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	2 / 0%
<b>1,2 Dicloroetano</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>1,2 Dicloroetano</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Arsênio Total</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Benzeno</b>	6 / 16,6%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Chumbo Total</b>	6 / 100%	7 / 14,2%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Cloreto de metileno (Diclorometano)</b>	6 / 0%	7 / 0%	3 / 0%	2 / 0%
<b>Cloreto de vinila (Cloroetano)</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Cloretos</b>	1 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	4 / 0%
<b>Clorofórmio (Triclorometano)</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	5 / 0%
<b>Cobre Total</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	6 / 0%
<b>Cromo Total</b>	1 / 0%	7 / 0%	7 / 14,2%	1 / 0%
<b>Etilbenzeno</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	6 / 0%
<b>Ftalato de 2 Etil Hexila</b>	6 / 66,6%	7 / 42,8%	7 / 14,2%	2 / 0%
<b>Mercurio Total</b>	6 / 16,6%	7 / 28,5%	7 / 0%	3 / 0%
<b>Nitratos</b>	1 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	6 / 0%
<b>pH</b>	6 / 100%	7 / 100%	7 / 100%	7 / 100%
<b>STD</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Sulfatos</b>	1 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	4 / 0%
<b>Tetracloroeto de carbono</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Tetracloroetano</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Tolueno</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	7 / 0%
<b>Tricloroetano</b>	6 / 0%	7 / 0%	7 / 0%	6 / 0%
<b>Total</b>	<b>137 / 13,1%</b>	<b>189 / 6,87%</b>	<b>185 / 4,86%</b>	<b>144 / 4,86%</b>

A Tabela 4 apresenta a quantidade de baterias com medidas em cada triênio e qual proporção dessas baterias está com medidas acima do permitido. Conforme podemos verificar na Tabela 4, a quantidade de baterias com medidas acima do limite no parâmetro Ftalato de 2 Etil Hexila vem diminuindo ao decorrer do tempo; no último triênio somente duas baterias tiveram o esse parâmetro medido.

Na Tabela 5 podemos verificar o quanto o Ftalato de 2 Etil Hexila está acima do limite em cada período. A Bateria 142 é a mais problemática, pois além de ter uma medida 3108% acima do limite aceitável, esta bateria foi monitorada apenas em dois triênios. Os valores dos demais parâmetros por triênios estão representados nos gráficos de comportamento presentes no Apêndice B.

Tabela 5 – Percentual excedente ao limite legislado para o parâmetro Ftalato de 2 Etil Hexila separado em baterias e triênios

<b>Bateria</b>	<b>2000-2002</b>	<b>2003-2005</b>	<b>2006-2008</b>	<b>2009-2011</b>
<b>47</b>	184%	46%	0%	

<b>122</b>	201%	0%	38%	
<b>123</b>	767%	0%	0%	
<b>124</b>	0%	0%	0%	0%
<b>127</b>	0%	0%	0%	
<b>140</b>	213%	66%	0%	0%
<b>142</b>		3108%	0%	

Na Tabela A.2 pode-se observar a quantidade de triênios em que cada parâmetro foi medido, e em quantos desses triênios o valor do parâmetro ficou acima do limite. Verifica-se que, geralmente, os parâmetros que possuem inconformidades apresentam este problema em mais de uma bateria, o que mostra que a água está contaminada pelas mesmas substâncias.

No passo seguinte estudou-se a distribuição dos dados nas baterias, inicialmente sem fazer separação por triênios. Entretanto, o fato de haver poucas medições de alguns parâmetros em certas baterias tornou difícil a visualização das condições gerais das águas.

A alternativa encontrada foi a construção de intervalos de confiança para a mediana dos parâmetros por bateria. Mesmo havendo casos onde existem poucas observações de um parâmetro dentro de uma bateria, podemos gerar um intervalo de confiança a partir do máximo e mínimo da amostra e depois calcular seu coeficiente de confiança a partir do número de observações.

Em conjunto, também foram feitos os gráficos de dispersão de cada parâmetro para corroborar os intervalos calculados. Esses gráficos foram gerados para os parâmetros listados na Tabela 2 e serão levados em consideração no cálculo do indicador de qualidade de água. Isto permitiu entender o comportamento destes parâmetros.

Nos gráficos com os intervalos de confiança para a mediana de cada parâmetro, na legenda, temos o coeficiente de confiança calculado para cada intervalo em um código de cores, os possíveis níveis são: Maior que 95%, entre 95% e 75%, menor que 75% e ponto único, quando há somente uma observação. A linha horizontal indica o limite aceitável.



Observando no Gráfico 3 os intervalos de confiança gerados, pode-se verificar o caso do pH, onde todos os intervalos de confiança estão dentro do limite aceitável do pH. Já no Gráfico 4 de dispersão, pode-se concluir que quase todos os valores estão abaixo do limite permitido, o que reforça o observado pelos intervalos.

Gráfico 3 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro pH

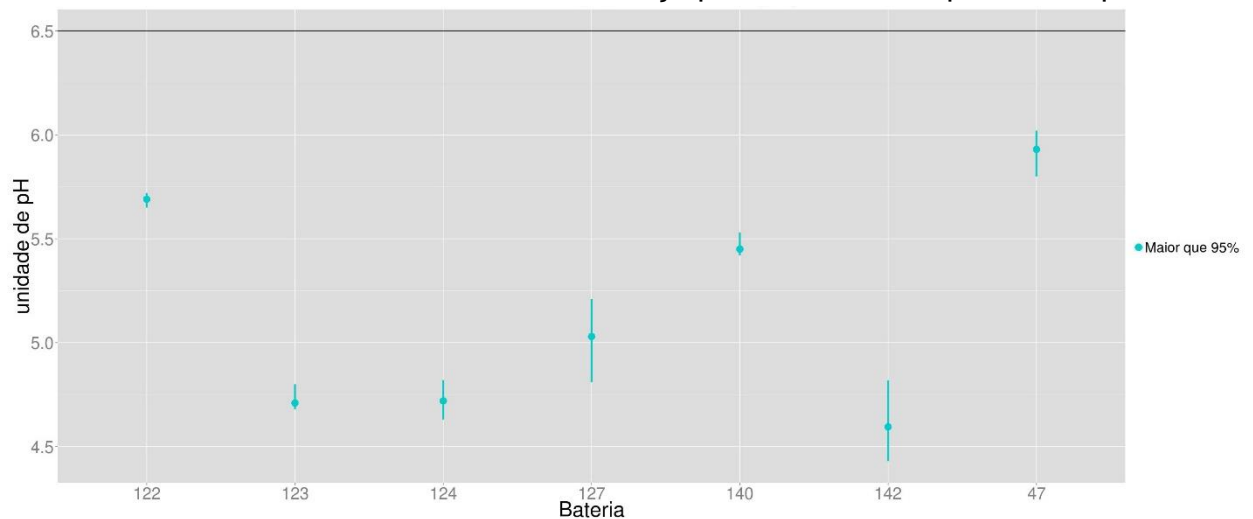
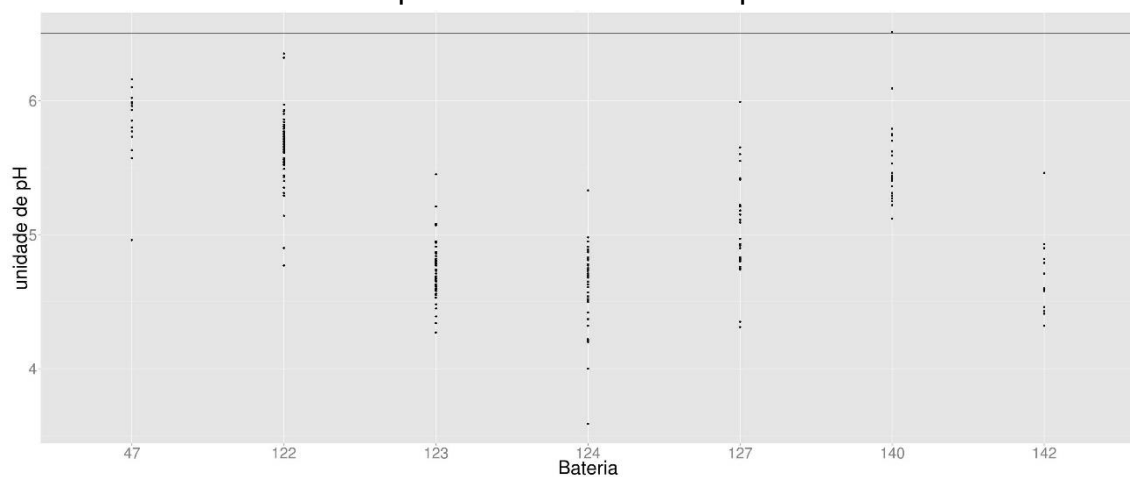


Gráfico 4 – Dispersão das medidas de pH nas baterias



Já no Gráfico 5, dos Nitratos, em todas as baterias os valores estão dentro do limite estabelecido, porém as baterias 124 e 142 apresentam valores acima das restantes, o que pode ter sido causado pelas indústrias próximas ou pelas características próprias da região.

Gráfico 5 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro Nitratos

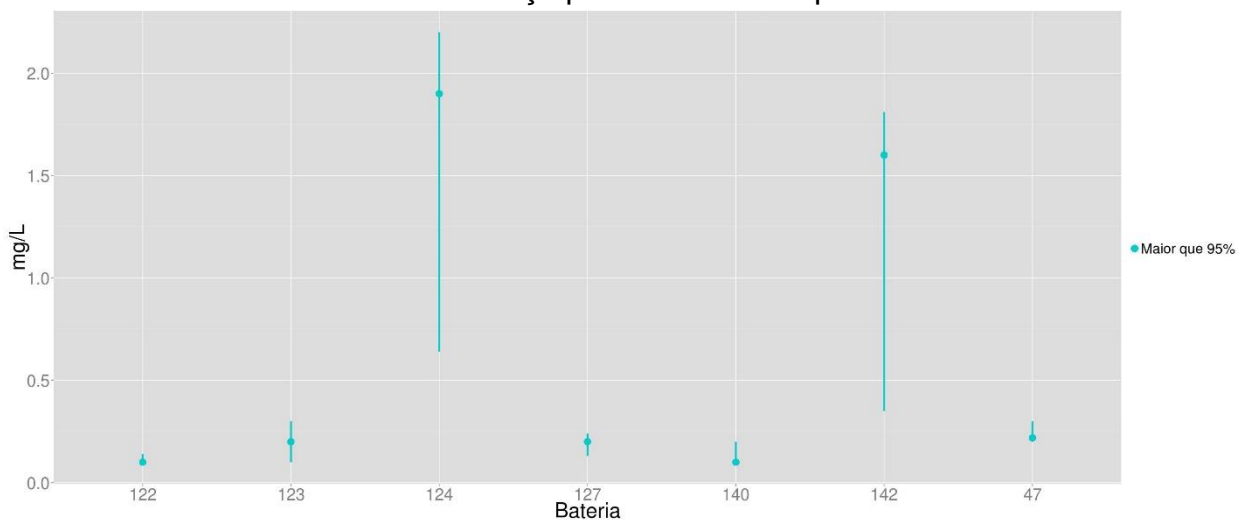
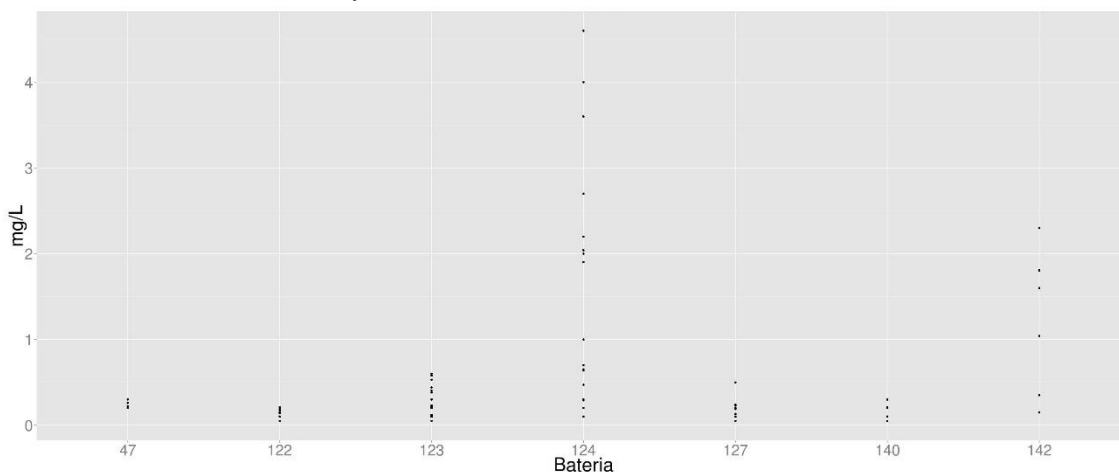


Gráfico 6 – Dispersão das medidas dos Nitratos nas baterias



Nos Gráficos 7 e 8, podemos observar que os limites superiores dos intervalos de confiança calculados estão dentro do limite da legislação, exceto na bateria 47, onde o limite superior ficou um pouco elevado devido a algumas concentrações altas. Porém, nos gráficos de dispersão, observamos que o ponto mais alto ocorreu na bateria 142, na qual a concentração chegou a 256,6 microgramas por litro de água.

Gráfico 7 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro Ftalato de 2 Etil Hexila

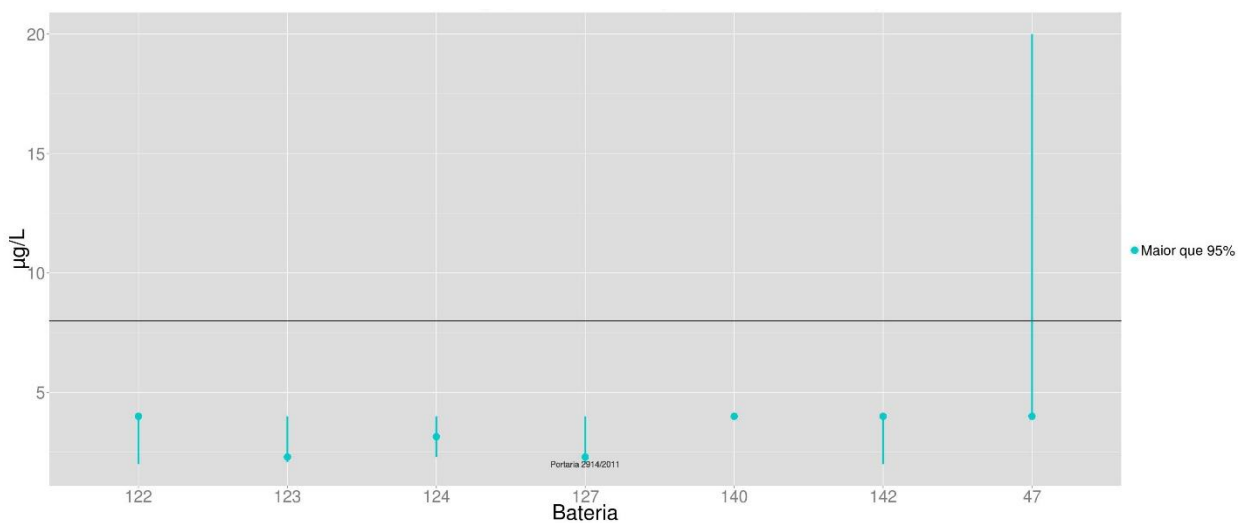
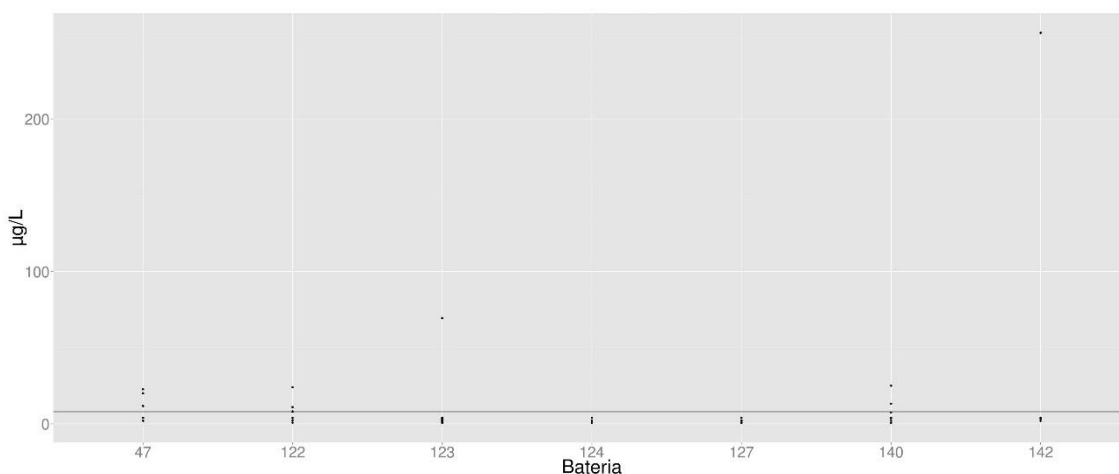


Gráfico 8 – Dispersão das medidas dos Ftalato de 2 Etil Hexila nas baterias



Construímos os gráficos para todos os parâmetros do estudo, os mais relevantes estão no apêndice B, em muitos deles, os dados eram aparentemente discretos, e, portanto, não foram de grande ajuda para detectarmos diferenças entre baterias. Como por exemplo o 1,2 Diclorobenzeno. Já no parâmetro STD (Sólidos Totais Dissolvidos) observamos que os dados aparentam ser contínuos.

Notamos também que há concentrações acima do limite aceitável de Chumbo na bateria 127 em várias das medições, o que levou com que o limite superior do intervalo de confiança ficasse acima do limite permitido pela legislação.

## 6. Indicador de Qualidade de Água

Para o desenvolvimento do indicador de qualidade da água subterrânea, foi necessário realizar a seleção dos parâmetros que seriam considerados para o monitoramento e classificação destes com relação à toxicidade.

Após o agrupamento dos poços em baterias, para analisarmos o histórico dos poços, dividimos o tempo de medição em quatro triênios: 2000 a 2002, 2003 a 2005, 2006 a 2008 e 2009 a 2011. Com isso, obtivemos 27 parâmetros com pelo menos uma medição em cada bateria e triênio. Por critério do pesquisador, foram incluídos outros 9 parâmetros e o 1,1 Dicloroetano foi removido.

Os parâmetros considerados na análise estão na Tabela 6, sendo que os últimos 9 parâmetros foram incluídos pelo pesquisador.

Tabela 6 – Parâmetros utilizados no cálculo do indicador de qualidade de água subterrânea, peso referente a toxicidade e a classificação de toxicidade segundo a IARC.

Parâmetro	Peso de toxicidade	IARC	Valor Máximo Permitido
1,1 Dicloroetano	2	Grupo 3	30 µg/L
1,1,1 Tricloroetano	2	Grupo 3	200 µg/L
1,1,2 Tricloroetano	2	Grupo 3	5 µg/L
1,2 Diclorobenzeno	2	Grupo 3	10 µg/L
1,2 Dicloroetano	3	Grupo 2B	10 µg/L
1,2 Dicloroetano	3	-	50 µg/L
Arsênio Total	4	Grupo 1	0,01 mg/L
Benzeno	4	Grupo 1	5 µg/L
Chumbo Total	4	Grupo 2B	0,01 mg/L
Cloreto de metileno (Diclorometano)	3	Grupo 2B	20 µg/L
Cloreto de vinila (Cloroetano)	4	Grupo 1	2 µg/L

Cloretos	1	-	250 mg/L
Clorofórmio (Triclorometano)	2	Grupo 2B	300 µg/L
Cobre Total	2	-	2 mg/L
Cromo Total (Hexavalente)	4	Grupo 1	0,05 mg/L
Etilbenzeno	1	Grupo 2B	200 µg/L
Ftalato de 2 Etil Hexila	3	Grupo 2B	8 µg/L
Mercúrio Total	4	-	0,001 mg/L
Nitratos	3	Grupo 2A	10 mg/L
pH	1	-	6,5 – 8,5
STD	1	-	1000 mg/L
Sulfatos	1	-	250 mg/L
Tetracloroeto de carbono	4	Grupo 2B	4 µg/L
Tetracloroeteno	4	Grupo 2A	40 µg/L
Tolueno	2	Grupo 3	170 µg/L
Tricloroeteno	4	Grupo 1	20 µg/L
Benzo(a)pireno	4	Grupo 1	0,7 µg/L
Diuron	2	-	90 µg/L
Simazina	2	Grupo 3	2 µg/L
Glifosato	3	-	500 µg/L
Atrazina	2	Grupo 3	2 µg/L
Ferro	1	-	0,3 mg/L
1,4 Diclorobenzeno	2	Grupo 2B	30 µg/L
Cadmio	4	Grupo 1	0,005 mg/L
Xilenos	2	Grupo 3	30 µg/L

A atribuição de pesos para a toxicidade dos diferentes parâmetros, apresentados na segunda coluna da Tabela 6, é muito importante pois estamos trabalhando com parâmetros que são muito diferentes em relação ao efeito na saúde humana. Os Cloretos, por exemplo, não causam grandes problemas ao

ultrapassar o limite permitido, porém, os metais pesados como Chumbo e Cromo são muito mais nocivos. Foi necessário quantificar a toxicidade dos parâmetros para que na hora do cálculo de indicador os parâmetros mais tóxicos tivessem mais relevância.

Para quantificar os pesos foram utilizadas informações da IARC (International Agency for Research on Cancer) que classifica os compostos em 5 grupos:

- Grupo 1 - Carcinogênico para humanos
- Grupo 2A - Provável carcinogênico para humanos.
- Grupo 2B - Possível carcinogênico para humanos
- Grupo 3 - Não classificável quanto à carcinogenicidade.
- Grupo 4 - Não provável carcinogênico.

No Grupo 1 estão as substâncias que comprovadamente causam câncer, dessa maneira o consumo de água contaminada com essas substâncias com certeza traria piores consequências a saúde humana, as substâncias dos grupos 2A e 2B ainda não são comprovadamente cancerígenas mas receberam um peso grande no cálculo por critério do pesquisador.

Também foram consideradas as informações da Portaria 2914 do M.S para a classificação dos pesos representados na Figura 1.

Figura 1 – Valor do peso e grau de toxicidade



Para calcular o Indicador de Qualidade de Água Subterrânea (IQASub) partimos do princípio de que para considerar a água analisada própria para o consumo humano, todos os parâmetros medidos devem estar dentro dos seus limites de potabilidade. Caso algum parâmetro não esteja dentro do limite de potabilidade vemos o percentual que ele excede o limite permitido, caso ele não exceda, iremos considerar o valor como zero no cálculo. Com esses valores, podemos calcular uma distância euclidiana, ponderada pela toxicidade, dessa medida ao zero, e assim avaliar o quanto o poço está fora do ideal ou se ele está com todos os parâmetros dentro do limite de potabilidade.

Fórmula 1 – Cálculo do IQASub

$$IQASub = \left( \sqrt{\sum_{i=1}^{36} \left( \frac{x_i \rho_i}{531} \right)^2} \right) 100$$

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{caso o valor do parâmetro } i \text{ seja menor ou igual ao limite permitido} \\ \frac{\text{Valor Medido para o parâmetro } i}{\text{Limite permitido do parâmetro } i} - 1, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$\rho_i$  = peso de toxicidade do parâmetro  $i$

Onde o 531 utilizado na fórmula é resultado da soma os pesos de toxicidade, caso o pesquisador opte em mudar algum critério da definição dos pesos essa soma deverá ser recalculada.

$$\sum_{i=1}^{36} \rho_i = 531$$

Multiplicamos o valor da distância ponderada por uma constante para facilitar a visualização dos dados.

Com o indicador definido, podemos calcular o seu valor nas baterias em cada triênio utilizando sempre o maior valor medido do parâmetro naquele período em cada bateria.

Os gráficos e tabelas a seguir mostram as medidas do IQASub em cada uma das baterias no decorrer do tempo.

Gráfico 9 – IQASub ao decorrer do tempo na bateria 47

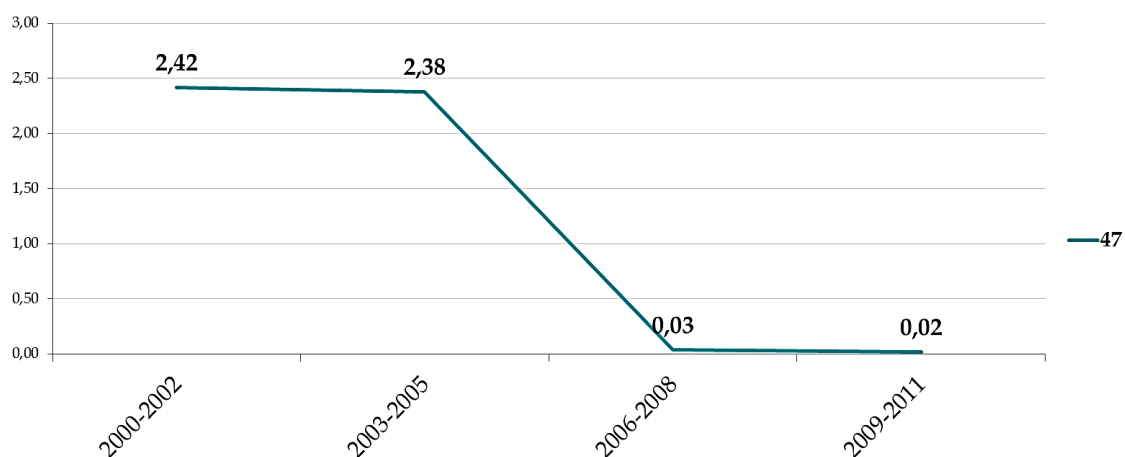


Tabela 7 – Parâmetros fora do limite permitido na bateria 47 no triênio 2000-2002

Parâmetro	Peso	Limite	Valor Medido	% Fora do Limite
Chumbo Total	4	0,010	0,039	290%
Ftalato de 2 Etil Hexila	3	8,0	22,7	184%

Pelo Gráfico 9 podemos observar que na bateria 47 há uma melhora significativa na qualidade da água nos últimos dois triênios, o pior momento dessa bateria foi no primeiro triênio quando os valores dos parâmetros Chumbo e Ftalato de 2 Etil Hexila ficaram acima do limite em 290% e 184%, respectivamente como mostrado na Tabela 7.



Gráfico 10 – IQASub ao decorrer do tempo na bateria 122

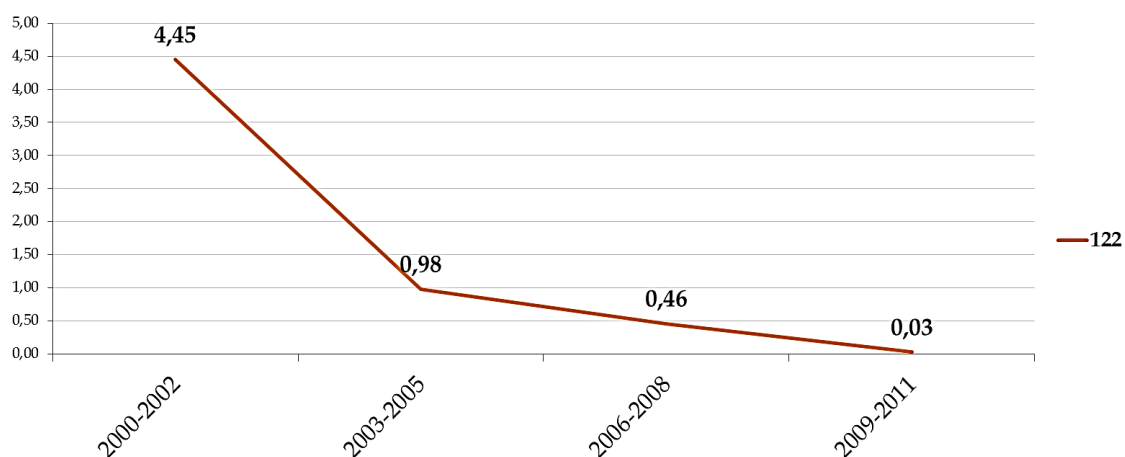


Tabela 8 – Parâmetros fora do limite permitido na bateria 122 e triênio 2000-2002

Parâmetro	Peso	Limite	Medido	% Fora do Limite
Cádmio Total	4	0,005	0,0071	42%
Chumbo Total	4	0,010	0,067	570%
Ftalato de 2 Etil Hexila	3	8,0	24,05	201%
pH	1	6,5-8,5	6,32	13%

Na bateria 122 podemos observar que a qualidade da água vem apresentando uma constante melhora, o pior momento dessa bateria foi no primeiro triênio representado na Tabela 8, com valores fora do limite permitido para o Chumbo, o Ftalato de 2 Etil Hexila, o Cádmio e o pH.

Gráfico 11 – IQASub ao decorrer do tempo na bateria 123

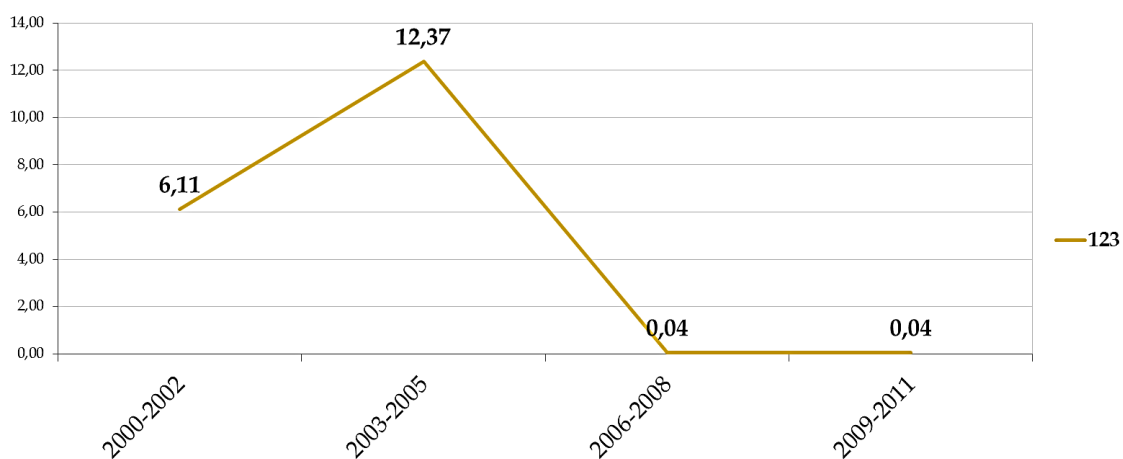


Tabela 9 – Parâmetros fora do limite permitido na bateria 123 e triênio 2003-2005

Parâmetro	Peso	Limite	Medido	% Fora do Limite
Ferro Total	1	0,3	20	6567%
pH	1	6,5-8,5	5,07	26%

Nessa bateria podemos ver pelo Gráfico 11 que o IQASub teve uma grande elevação no triênio 2003-2005. Para entender esse valor observamos na Tabela 9 que havia nesse período de tempo uma concentração muito elevada de ferro na água, 6567% acima do limite de potabilidade, isso levou a um valor muito alto no indicador, porém, no monitoramento dos dois últimos triênios os valores estão muito próximos do zero, o que indica que esse problema foi controlado. Apesar de ser muito elevado o percentual fora do limite do Ferro o indicador não teve um valor ainda maior pelo fato da substância não apresentar alta toxicidade.

Gráfico 12 – IQASub ao decorrer do tempo na bateria 124

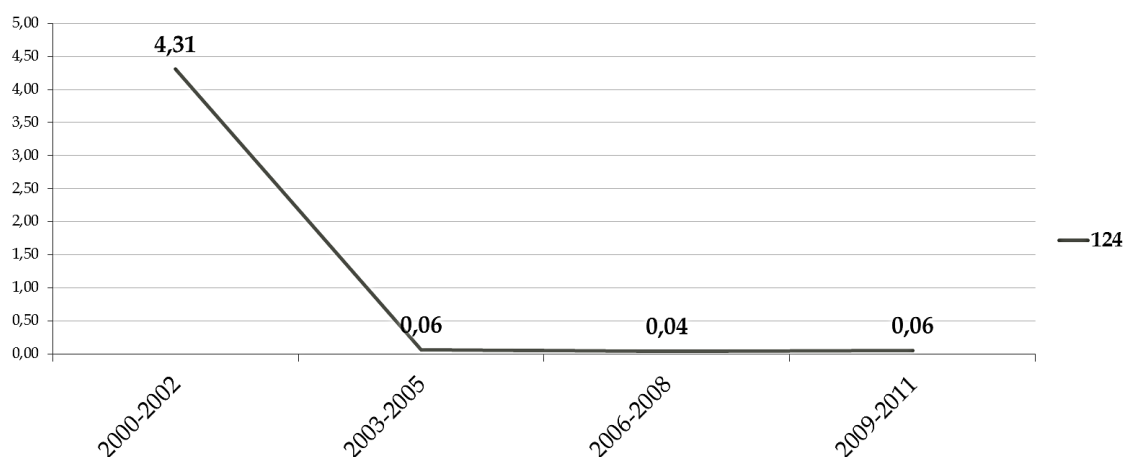


Tabela 10 – Parâmetros fora do limite permitido na bateria 124 e triênio 2000-2002

Parâmetro	Peso	Limite	Medido	% Fora do Limite
Benzeno	4	5	5,9	18%
Cádmio Total	4	0,005	0,0071	42%
Chumbo Total	4	0,01	0,067	570%
pH	1	6,5-8,5	4,95	27%

Segundo o indicador, a bateria 124 apresentou maiores problemas com a qualidade da água no primeiro triênio, com medidas fora do limite de potabilidade nos parâmetros Benzeno, Cádmio, Chumbo e pH, porém, nos três triênios seguintes não há indícios de grandes contaminações na água, há somente alterações na acidez da água, pois o pH está abaixo do permitido.

Gráfico 13 – IQASub ao decorrer do tempo na bateria 127

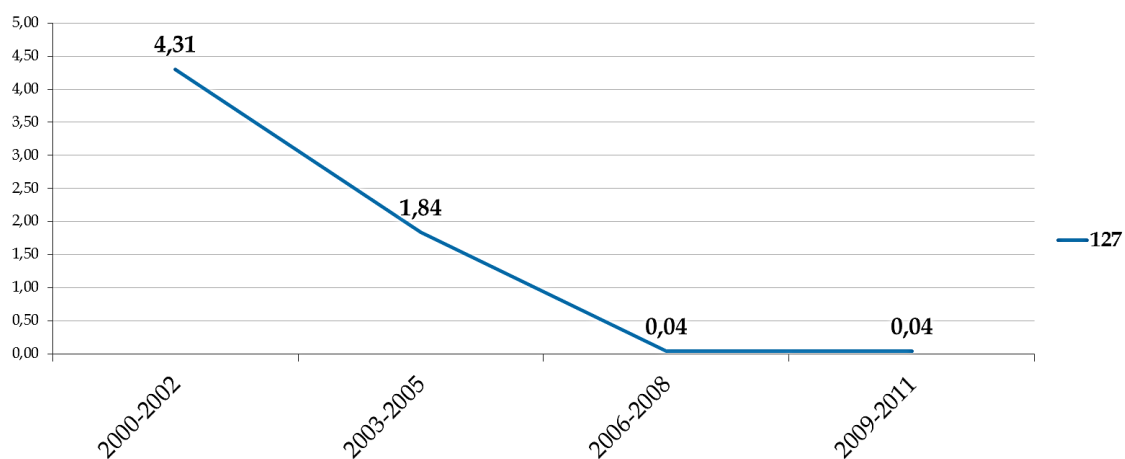


Tabela 11 – Parâmetros fora do limite permitido na bateria 127 e triênio 2000-2002

Parâmetro	Peso	Limite	Medido	% Fora do Limite
Cádmio Total	4	0,005	0,0071	42%
Chumbo Total	4	0,01	0,067	570%
pH	1	6,5-8,5	5,65	26%

A bateria 127 apresenta um comportamento muito parecido com a bateria 122. Pelo gráfico do indicador, observamos uma tendência de melhora nos 12 anos de monitoramento. O pior valor do IQASub, triênio 2000-2002, é resultante de concentrações fora do limite de potabilidade no Cádmio, Chumbo e pH.

Gráfico 14 – IQASub ao decorrer do tempo na bateria 140

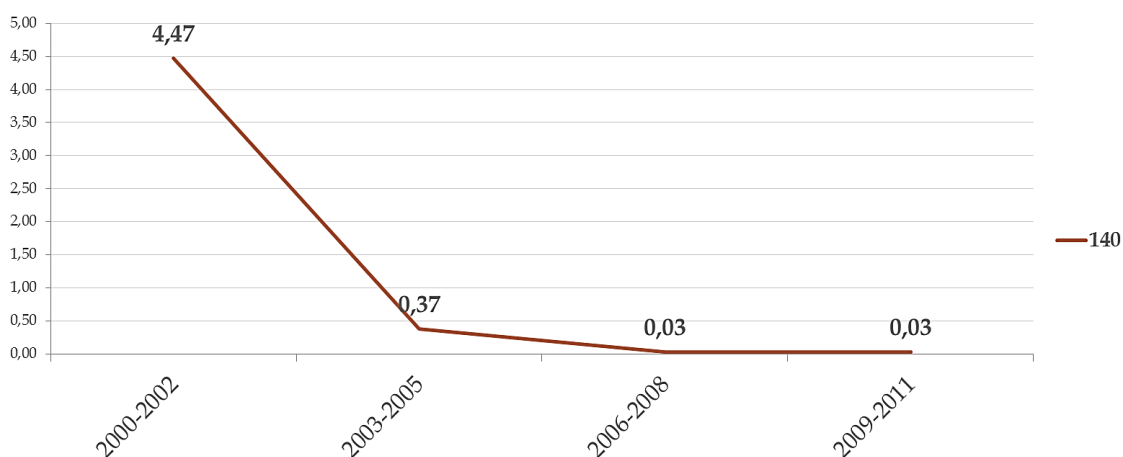


Tabela 12 – Parâmetros fora do limite permitido na bateria 140 e triênio 2000-2002

Parâmetro	Peso	Limite	Medido	% Fora do Limite
Cádmio Total	4	0,005	0,0071	42%
Chumbo Total	4	0,01	0,067	570%
Ftalato de 2 Etil Hexila	3	8	25	213%
pH	1	6,5-8,5	5,75	15%

A bateria 140 apresenta um comportamento similar ao da bateria 123, apresentando valores altos do indicador no primeiro triênio e próximos de zero nos demais. Os parâmetros que impactaram na maior medição do indicador foram o Cádmio, o Chumbo, o Ftalato de 2 Etil Hexila e o pH, com destaque ao Chumbo que é um parâmetro de alta toxicidade e está 570% acima do valor de referência para potabilidade.

Gráfico 15 – IQASub ao decorrer do tempo na bateria 142

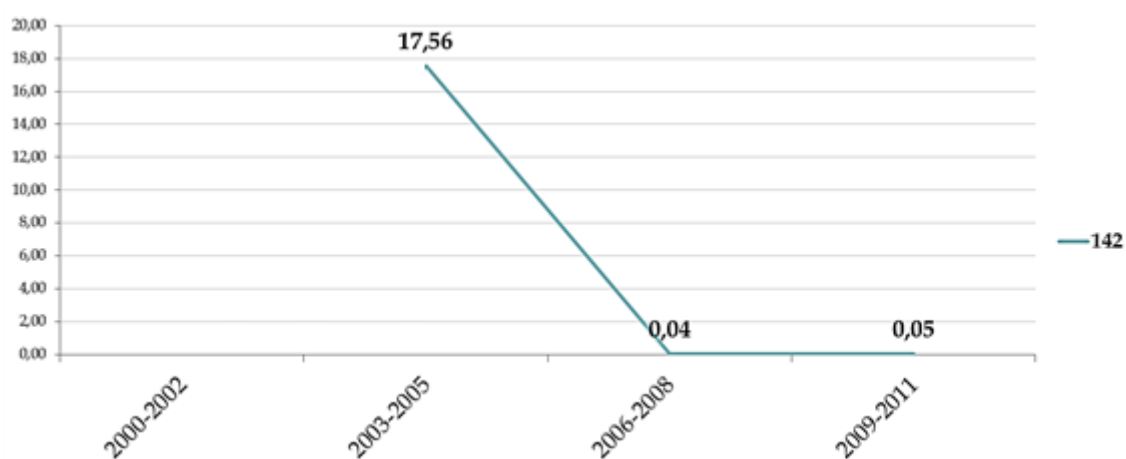
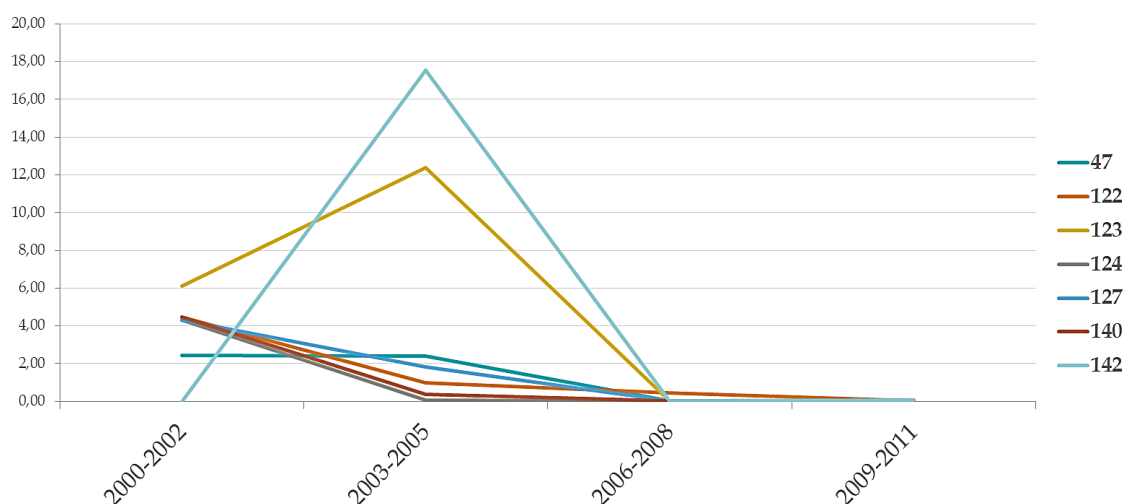


Tabela 13 – Parâmetros fora do limite permitido na bateria 142 e triênio 2003-2005

Parâmetro	Peso	Limite	Medido	% Fora do Limite
Ferro Total	1	0,3	0,64	113%
Ftalato de 2 Etil Hexila	3	8	256,6	3108%
pH	1	6,5-8,5	4,93	25%

A bateria 142 não teve coleta de medições no primeiro triênio, mas no primeiro momento em que foi monitorada, triênio 2003-2005, o indicador apresentou um valor muito alto, devido a uma medição muito alta de Ftalato de 2 Etil Hexila, 3108% acima do permitido, porém nos 2 últimos triênios esse parâmetro voltou a normalidade e os valores de IQASub voltaram a baixar ficando próximos a zero, sendo que a única alteração nos dois últimos indicadores é no pH.

Gráfico 16 – IQASub ao decorrer do tempo em todas as baterias



Observando o Gráfico 16 que representa os valores do IQASub em todas as baterias, notamos um comportamento muito similar. Nos últimos dois triênios, de 2006 a 2011, os valores ficam muito próximos do zero, o que indica que nesse período não houve medições muito acima do limite de potabilidade. Na Tabela 14, apresentamos os valores calculados do indicador no último triênio para todas as baterias.

Tabela 14 – Valores do IQASub no triênio 2009-2011

Bateria	IQASub
47	0,02
122	0,03
123	0,04
124	0,06
127	0,04
140	0,03
142	0,05

Em todas as baterias no último triênio, o único parâmetro fora do limite de potabilidade foi o parâmetro pH, que segundo o pesquisador é normal, pois a água da tem uma natureza mais ácida nessa região. Como esse parâmetro tem o menor peso de toxicidade, não observamos valores altos no indicador, o que mostra que na última referência que temos a água da região está bem controlada em relação a contaminações.

## **7. Conclusão**

A análise descritiva nos permitiu selecionar quais variáveis poderiam ser utilizadas no desenvolvimento do índice de qualidade da água, o objetivo principal desse estudo. Muitas variáveis foram descartadas devido à falta de medições regulares e também a falta de legislações.

Após selecionarmos os parâmetros, conseguimos fazer uma análise geral das situações dos poços amostrados. Isso nos permitiu verificar a existência de inconformidades em alguns parâmetros ao decorrer do tempo.

Todas as medições de pH ficaram fora do limite, o que mostra que a região possui uma água mais ácida do que o normal. Além do pH também encontramos problemas com os parâmetros Chumbo Total, Ftalato de 2 Etil Hexila, Mercúrio Total e Cromo Total, que em alguns triênios apresentaram medições fora do limite de potabilidade. Isso pode ser observado tanto nos gráficos de pior cenário da bateria, quanto nos intervalos de confiança para a mediana e nos gráficos de dispersão.

Os Hidrocarbonetos Clorados apresentam, em geral, medições aparentemente discretas, isso dificulta a comparação do comportamento dessas variáveis nas baterias por meio dos intervalos de confiança gerados, porém o gráfico de pior cenário não é afetado.

Utilizando a distância ponderada pela toxicidade entre os valores medidos e os ideais como um indicador de qualidade da água, conseguimos uma medida sensível para detectar desde pequenas a grandes alterações na qualidade da água.



Além disso, esse indicador pode ser alterado, incluindo outras variáveis de interesse do pesquisador ou que no futuro mostrem-se necessárias para o monitoramento, desde que tenhamos sua medida e seu limite de potabilidade, que pode ser definido a critério do pesquisador.

Em todas as baterias notam-se melhoras no período de 2006 a 2011, o que indica que não houve grandes contaminações no período.

Sugerimos que no futuro o pesquisador pesquise o comportamento das combinações dos parâmetros, esse estudo pode agregar muito ao indicador.

## **Apêndice A**

### **Tabelas**

Tabela A.1 – Tabela dos parâmetros coletados

Parâmetro	Natureza da Parâmetro	Parâmetro	Natureza da Parâmetro
M.F Col.Termostolerantes (fecais)	MICRO - MICRORGANISMO	Benzo(b k)fluoranteno	QO - QUIMICO ORGANICO
M.F Col.Totais	MICRO - MICRORGANISMO	Benzo(b)fluoranteno	QO - QUIMICO ORGANICO
Alcalinidade CO3=	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	Benzo(g,h,i)perileno	QO - QUIMICO ORGANICO
Alcalinidade HCO3-	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	Benzo(k)fluoranteno	QO - QUIMICO ORGANICO
Alcalinidade OH-	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	Benzoato de Metila	QO - QUIMICO ORGANICO
Cond	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	Beta BHC	QO - QUIMICO ORGANICO
Ev	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	Brometo	QO - QUIMICO ORGANICO
OD	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	Bromofórmio	QO - QUIMICO ORGANICO
pH	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	BTEX	QO - QUIMICO ORGANICO
STD	PFQ - PARAMETRO FISICO QUIMICO	Carbono Orgânico Total	QO - QUIMICO ORGANICO
Alumínio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Chlorpyrifos	QO - QUIMICO ORGANICO
Antimônio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Cloreto de metileno (Diclorometano)	QO - QUIMICO ORGANICO
Arsênio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Cloreto de vinila (Cloroeteno)	QO - QUIMICO ORGANICO
Bário	QI - QUIMICO INORGANICO	Clorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO
Cádmio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Cloroetano	QO - QUIMICO ORGANICO
Cálcio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Clorofórmio (Triclorometano)	QO - QUIMICO ORGANICO
Chumbo Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Criseno	QO - QUIMICO ORGANICO
Cianeto Total	QI - QUIMICO INORGANICO	DBO	QO - QUIMICO ORGANICO
Cloretos	QI - QUIMICO INORGANICO	Delta BHC	QO - QUIMICO ORGANICO
Cobre Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Dibenzo(a,h)antraceno	QO - QUIMICO ORGANICO
Cromo Hexavalente	QI - QUIMICO INORGANICO	Dibromoclorometano	QO - QUIMICO ORGANICO
Cromo Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Diclorobromometano	QO - QUIMICO ORGANICO
Fe 2	QI - QUIMICO INORGANICO	Dicloronitrobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO
Fe 3	QI - QUIMICO INORGANICO	Dimetilformamida	QO - QUIMICO ORGANICO
Ferro Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Dinitrobutilfenol	QO - QUIMICO ORGANICO
Fluoreto	QI - QUIMICO INORGANICO	Dinitroclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO
Fosfato	QI - QUIMICO INORGANICO	Dinitrocresol	QO - QUIMICO ORGANICO
Magnésio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Dioxinas	QO - QUIMICO ORGANICO
Manganês Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Diuron	QO - QUIMICO ORGANICO
Mercurio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	DQO - RF	QO - QUIMICO ORGANICO
Níquel Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Endossulfan I	QO - QUIMICO ORGANICO
Nitratos	QI - QUIMICO INORGANICO	Endossulfan II	QO - QUIMICO ORGANICO
Nitrito	QI - QUIMICO INORGANICO	Endossulfan Sulfato	QO - QUIMICO ORGANICO
Nitrogênio Amoniacal	QI - QUIMICO INORGANICO	Estireno	QO - QUIMICO ORGANICO
Sódio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Etano	QO - QUIMICO ORGANICO
Sulfatos	QI - QUIMICO INORGANICO	Eteno	QO - QUIMICO ORGANICO
Vanádio Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Ethofumesato	QO - QUIMICO ORGANICO
Zinco Total	QI - QUIMICO INORGANICO	Etilbenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO
1,1 Dicloroetano	QO - QUIMICO ORGANICO	Fenantreno	QO - QUIMICO ORGANICO
1,1 Dicloroeteno	QO - QUIMICO ORGANICO	Fenol	QO - QUIMICO ORGANICO
1,1,1 Tricloroetano	QO - QUIMICO ORGANICO	Fluoranteno	QO - QUIMICO ORGANICO
1,1,2 Tricloroetano	QO - QUIMICO ORGANICO	Fluoreno	QO - QUIMICO ORGANICO
1,1,2,2 Tetracloroetano	QO - QUIMICO ORGANICO	Ftalato de 2 Etil Hexila	QO - QUIMICO ORGANICO
1,2 Diclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Ftalato de n-butila	QO - QUIMICO ORGANICO
1,2 Dicloroetano	QO - QUIMICO ORGANICO	Furanos	QO - QUIMICO ORGANICO
1,2 Dicloroeteno	QO - QUIMICO ORGANICO	Glifosato	QO - QUIMICO ORGANICO
1,2 Dicloroeteno cis	QO - QUIMICO ORGANICO	Hexaclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO
1,2 Dicloroeteno trans	QO - QUIMICO ORGANICO	Hidrocarbonetos Clorados Totais-THC	QO - QUIMICO ORGANICO
1,2,3 Triclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	HPA	QO - QUIMICO ORGANICO
1,2,4 Trimetilbenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Indeno(1,2,3-cd)pireno	QO - QUIMICO ORGANICO
1,3 Butadieno	QO - QUIMICO ORGANICO	Isopropanol	QO - QUIMICO ORGANICO
1,3 Diclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Lindano	QO - QUIMICO ORGANICO
1,3,5 Trimetilbenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Linear Alquil Benzeno-LAB	QO - QUIMICO ORGANICO
1,4 Diclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Metano	QO - QUIMICO ORGANICO
1,4 Dimetilnaftaleno	QO - QUIMICO ORGANICO	Metil Ácido Benzóico	QO - QUIMICO ORGANICO
1,4 Dioxano	QO - QUIMICO ORGANICO	Metil Isobutil Cetona	QO - QUIMICO ORGANICO
2 Cloroanilina	QO - QUIMICO ORGANICO	Metil t-Butil Éter	QO - QUIMICO ORGANICO
2 Metil-Naftaleno	QO - QUIMICO ORGANICO	Metil-Paration	QO - QUIMICO ORGANICO
2 Nitrotolueno	QO - QUIMICO ORGANICO	Naftaleno	QO - QUIMICO ORGANICO
2,3 Dicloroanilina	QO - QUIMICO ORGANICO	Nitrobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO
2,4 Dimetil Fenol	QO - QUIMICO ORGANICO	Óleos e Graxas	QO - QUIMICO ORGANICO

2,4 Dinitroclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	o-Xileno	QO - QUIMICO ORGANICO
2,4 Dinitrotolueno	QO - QUIMICO ORGANICO	p,m Xileno	QO - QUIMICO ORGANICO
2,4,6 Triclorofenol	QO - QUIMICO ORGANICO	Paration	QO - QUIMICO ORGANICO
2,5 Dicloroanilina	QO - QUIMICO ORGANICO	p-Dietilbenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO
2,6 Dimetilnaftaleno	QO - QUIMICO ORGANICO	Pentaclorofenol	QO - QUIMICO ORGANICO
2,6 Dinitrotolueno	QO - QUIMICO ORGANICO	Pireno	QO - QUIMICO ORGANICO
2-Metilfenol (o-Cresol)	QO - QUIMICO ORGANICO	p-Isopropilaniilina	QO - QUIMICO ORGANICO
3 Nitrotolueno	QO - QUIMICO ORGANICO	PMHeptano	QO - QUIMICO ORGANICO
3,4 Dicloroanilina	QO - QUIMICO ORGANICO	p-Nitrocumeno	QO - QUIMICO ORGANICO
3,4 Dicloronitrobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Potássio	QO - QUIMICO ORGANICO
3,4 Dinitroanilina	QO - QUIMICO ORGANICO	Propanil	QO - QUIMICO ORGANICO
3,4 Dinitroclorobenzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Selênio Total	QO - QUIMICO ORGANICO
4 Nitrotolueno	QO - QUIMICO ORGANICO	Simazina	QO - QUIMICO ORGANICO
Acenafteno	QO - QUIMICO ORGANICO	Sulfluramida	QO - QUIMICO ORGANICO
Acenaftileno	QO - QUIMICO ORGANICO	Sulfolane	QO - QUIMICO ORGANICO
Acetona	QO - QUIMICO ORGANICO	Surfactantes	QO - QUIMICO ORGANICO
Ácido Acético	QO - QUIMICO ORGANICO	Terbumeton	QO - QUIMICO ORGANICO
Ácido Benzóico	QO - QUIMICO ORGANICO	Terbutilazina	QO - QUIMICO ORGANICO
Acrlonitrila	QO - QUIMICO ORGANICO	Tértil Butil Álcool	QO - QUIMICO ORGANICO
Alfa BHC	QO - QUIMICO ORGANICO	Tetracloroeto de carbono	QO - QUIMICO ORGANICO
Ametrina	QO - QUIMICO ORGANICO	Tetracloroetano	QO - QUIMICO ORGANICO
Antraceno	QO - QUIMICO ORGANICO	Tetracloroeteno	QO - QUIMICO ORGANICO
Atrazina	QO - QUIMICO ORGANICO	Tolueno	QO - QUIMICO ORGANICO
Benzeno	QO - QUIMICO ORGANICO	Triazina	QO - QUIMICO ORGANICO
Benzo(a)antraceno	QO - QUIMICO ORGANICO	Tricloroeteno	QO - QUIMICO ORGANICO
Benzo(a)pireno	QO - QUIMICO ORGANICO	Xilenos	QO - QUIMICO ORGANICO

Tabela A.2 – Quantidade de triênios em que os parâmetros foram medidos e proporção de vezes em que o parâmetro ficou fora do limite

Parâmetros	Bateria						
	47	122	123	124	127	140	142
<b>1,1 Dicloroetano</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>1,1 Dicloroetano</b>	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	4 / 0%	3 / 0%	3 / 0%
<b>1,1,1 Tricloroetano</b>	4 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	2 / 0%
<b>1,1,2 Tricloroetano</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%	3 / 0%
<b>1,2 Diclorobenzeno</b>	4 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	4 / 0%	2 / 0%
<b>1,2 Dicloroetano</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>1,2 Dicloroetano</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Arsênio Total</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Benzeno</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 25%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Chumbo Total</b>	4 / 50%	4 / 25%	4 / 25%	4 / 25%	4 / 25%	4 / 25%	3 / 0%
<b>Cloreto de metileno</b>	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	2 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	1 / 0%
<b>Cloreto de vinila (Cloroetano)</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Cloretos</b>	4 / 0%	2 / 0%	2 / 0%	3 / 0%	2 / 0%	3 / 0%	3 / 0%
<b>Clorofórmio (Triclorometano)</b>	3 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%	3 / 0%
<b>Cobre Total</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%	3 / 0%
<b>Cromo Total</b>	2 / 0%	2 / 50%	2 / 0%	3 / 0%	2 / 0%	3 / 0%	2 / 0%
<b>Etilbenzeno</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%	3 / 0%
<b>Ftalato de 2 Etil Hexila</b>	3 / 66,6%	3 / 66,6%	3 / 33,3%	4 / 0%	3 / 0%	4 / 50%	2 / 50%
<b>Mercúrio Total</b>	4 / 25%	3 / 33,3%	3 / 33,3%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%	2 / 0%
<b>Nitratos</b>	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	3 / 0%	2 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>pH</b>	4 / 100%	4 / 100%	4 / 100%	4 / 100%	4 / 100%	4 / 100%	3 / 100%
<b>STD</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Sulfatos</b>	4 / 0%	2 / 0%	2 / 0%	3 / 0%	2 / 0%	3 / 0%	3 / 0%
<b>Tetracloroeto de carbono</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Tetracloroetano</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Tolueno</b>	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%
<b>Tricloroetano</b>	3 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	4 / 0%	3 / 0%

## **Apêndice B**

### **Gráficos**

Gráfico B.1 – Pior Cenário da Bateria 47

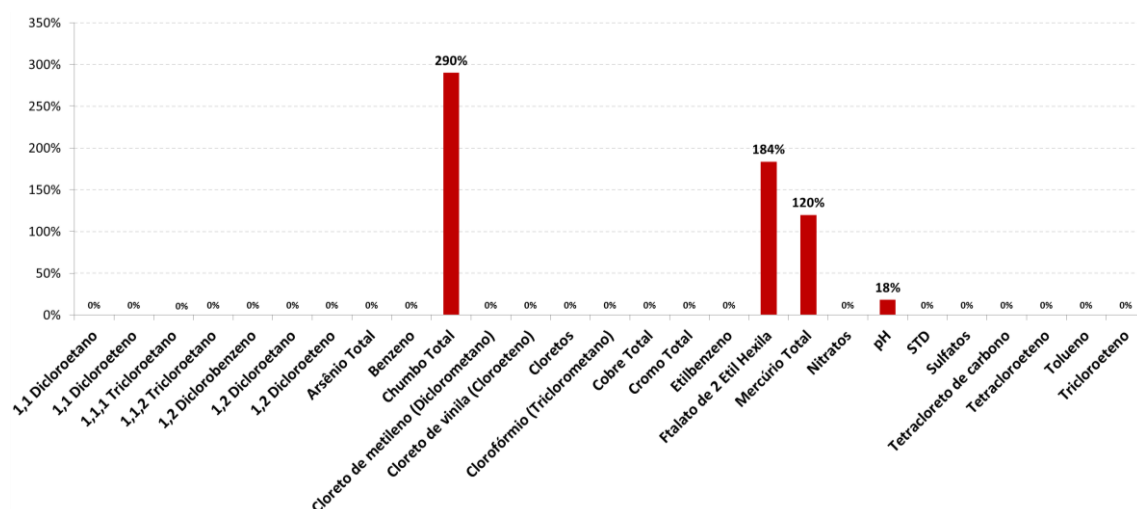


Gráfico B.2 – Comportamento da Bateria 47 nos triênios

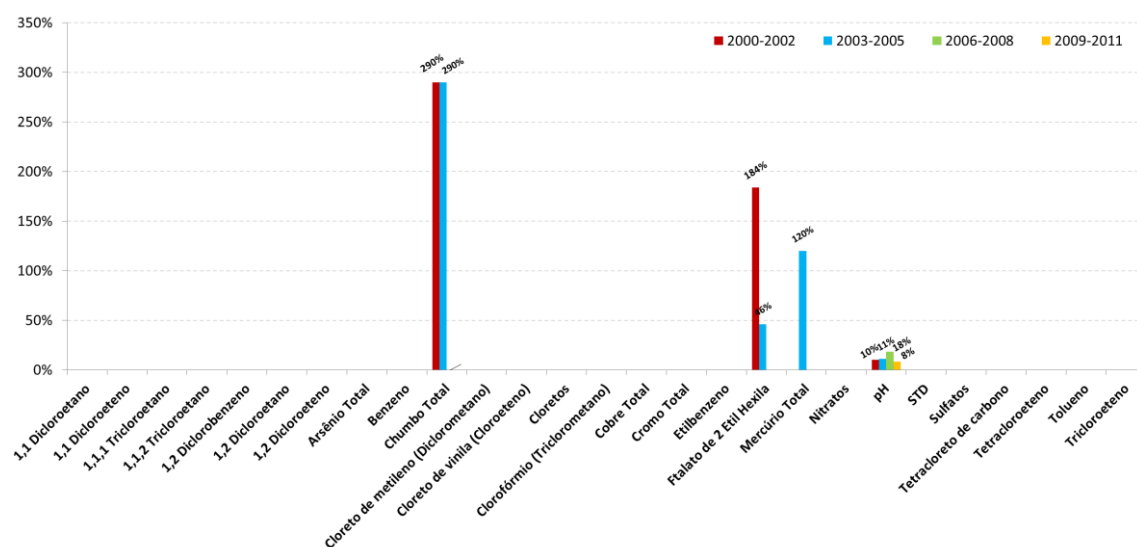


Gráfico B.3 – Pior Cenário da Bateria 123

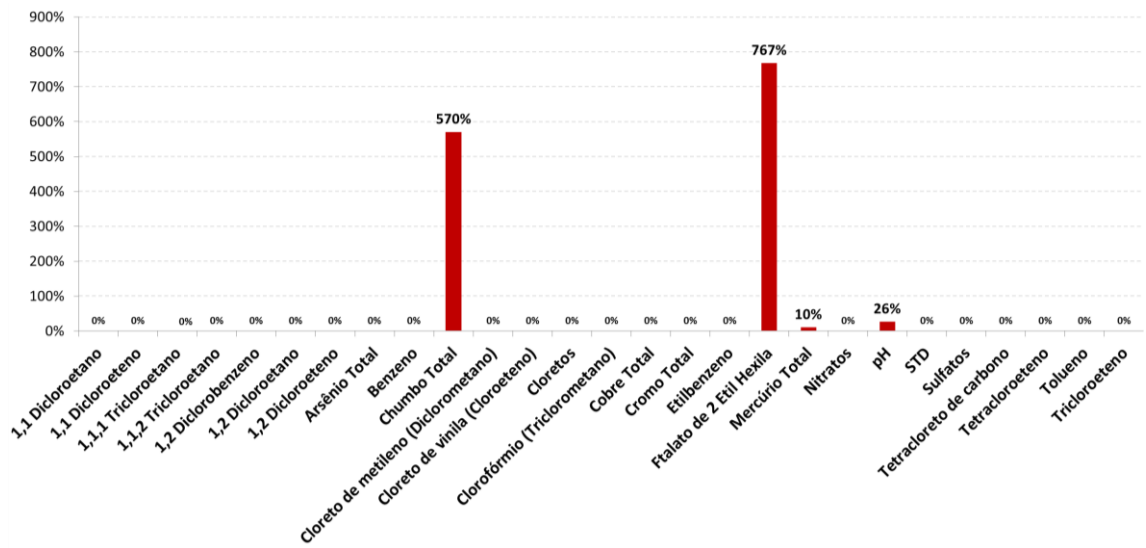


Gráfico B.4 – Comportamento da Bateria 123 nos triênios

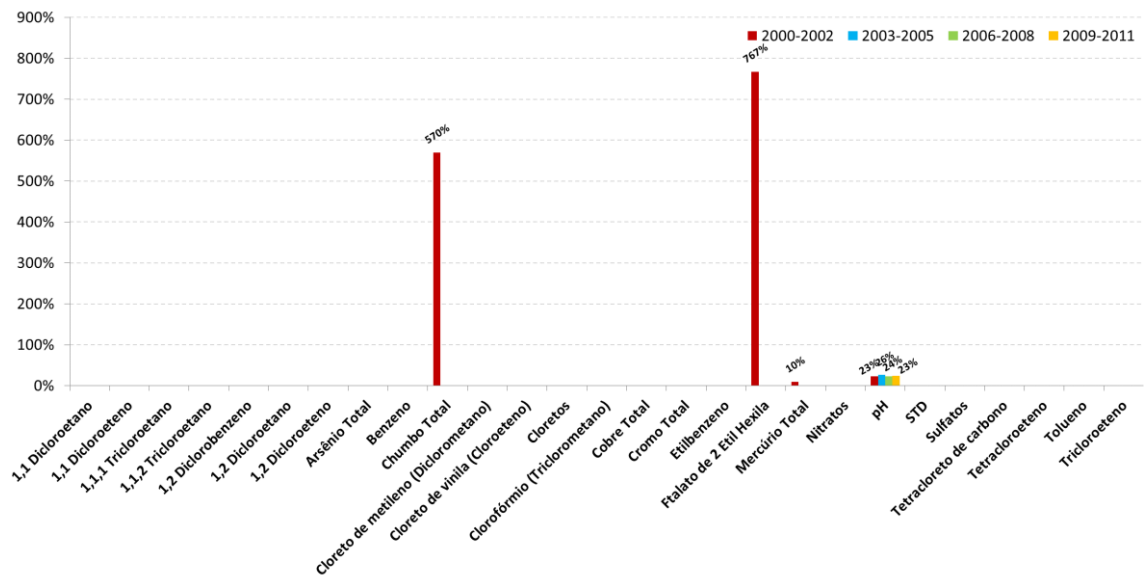




Gráfico B.5 – Pior Cenário da Bateria 124

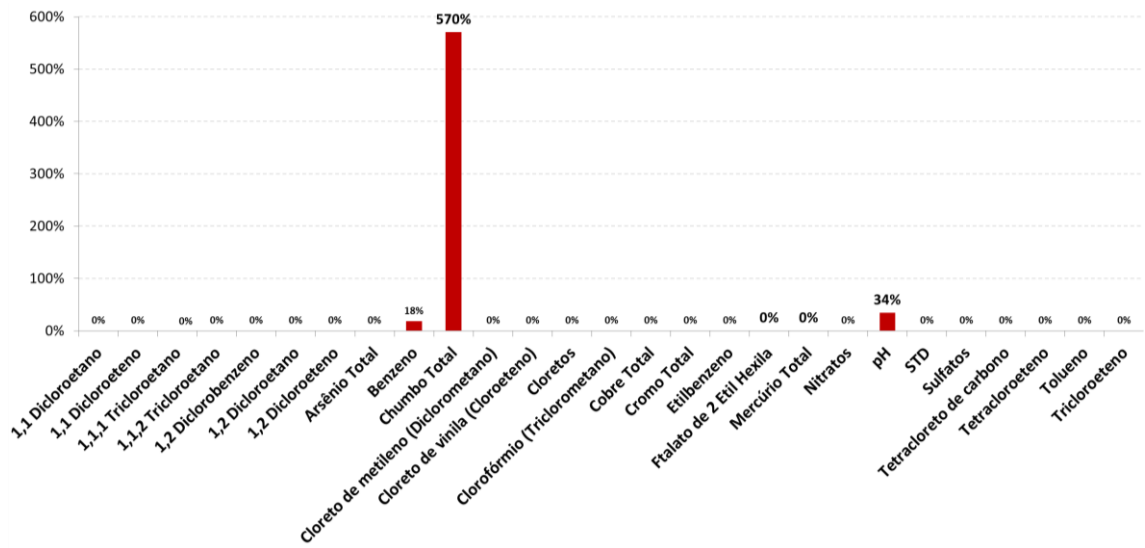


Gráfico B.6 – Comportamento da Bateria 124 nos triênios

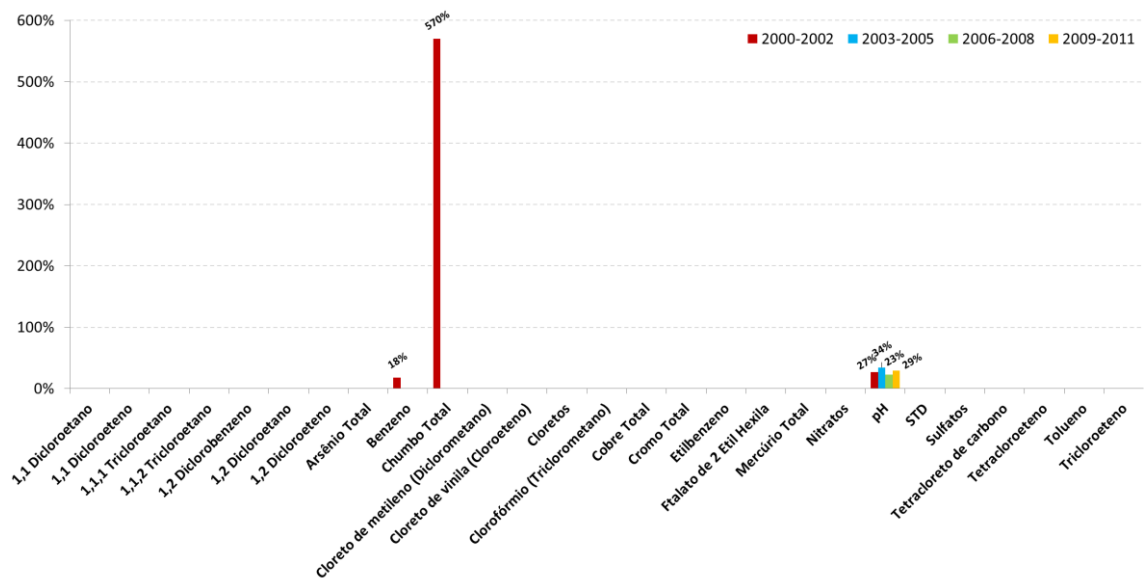


Gráfico B.7 – Pior Cenário da Bateria 127

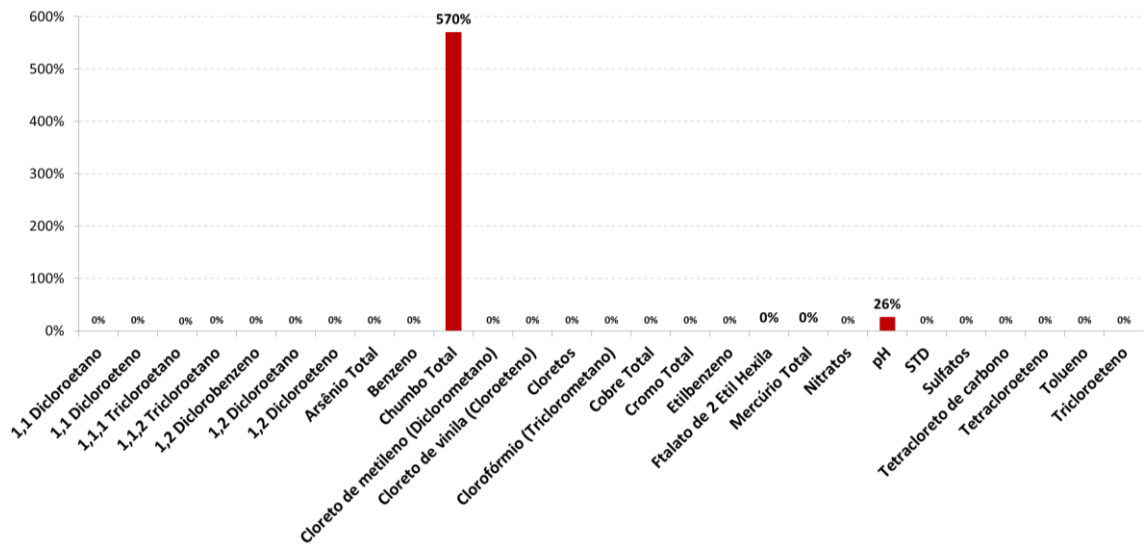


Gráfico B.8 – Comportamento da Bateria 127 nos triênios

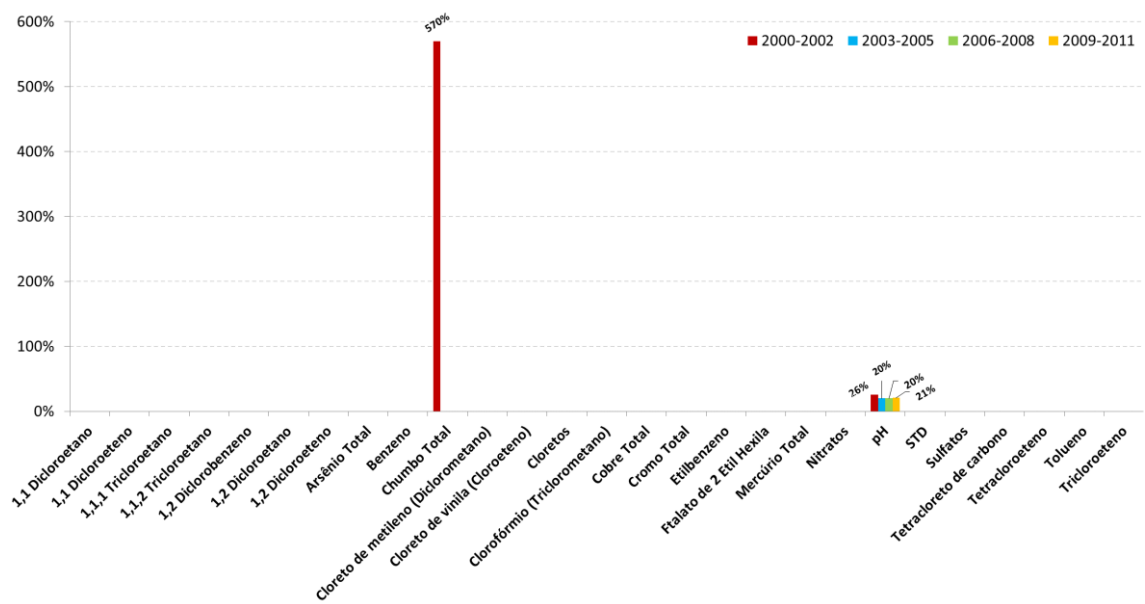


Gráfico B.9 – Pior Cenário da Bateria 140

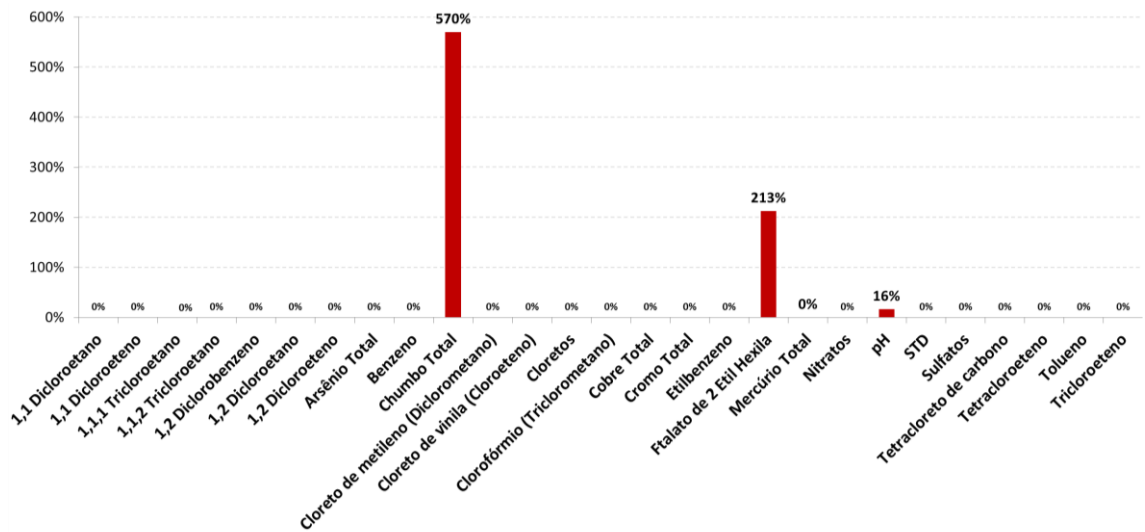


Gráfico B.10 – Comportamento da Bateria 140 nos triênios

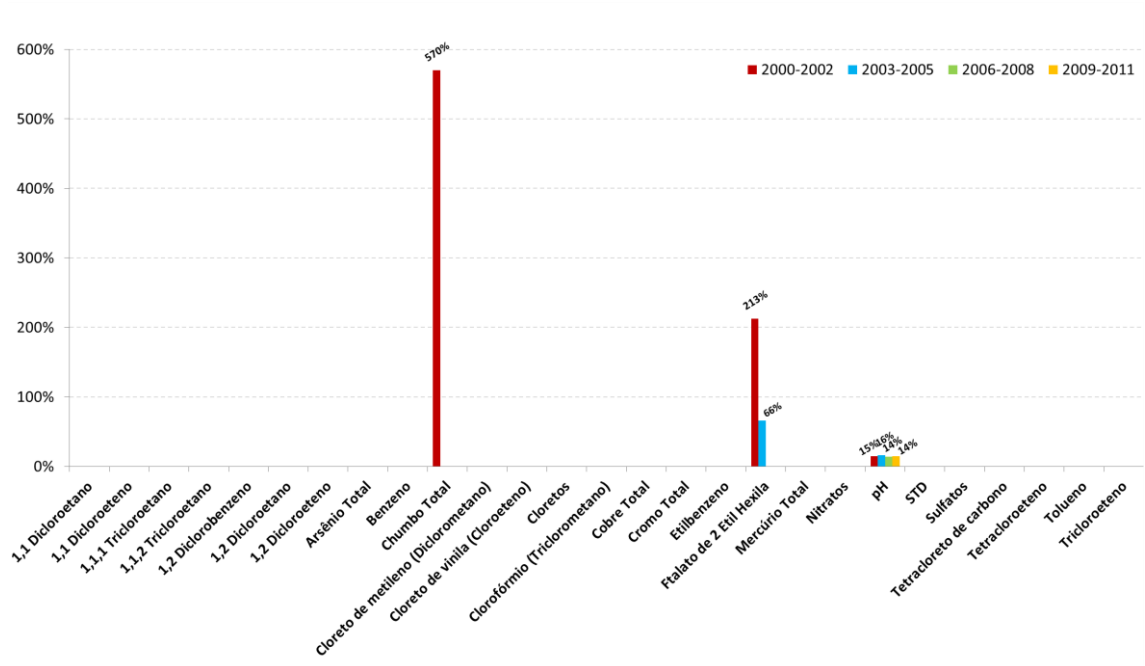


Gráfico B.11 – Pior Cenário da Bateria 142

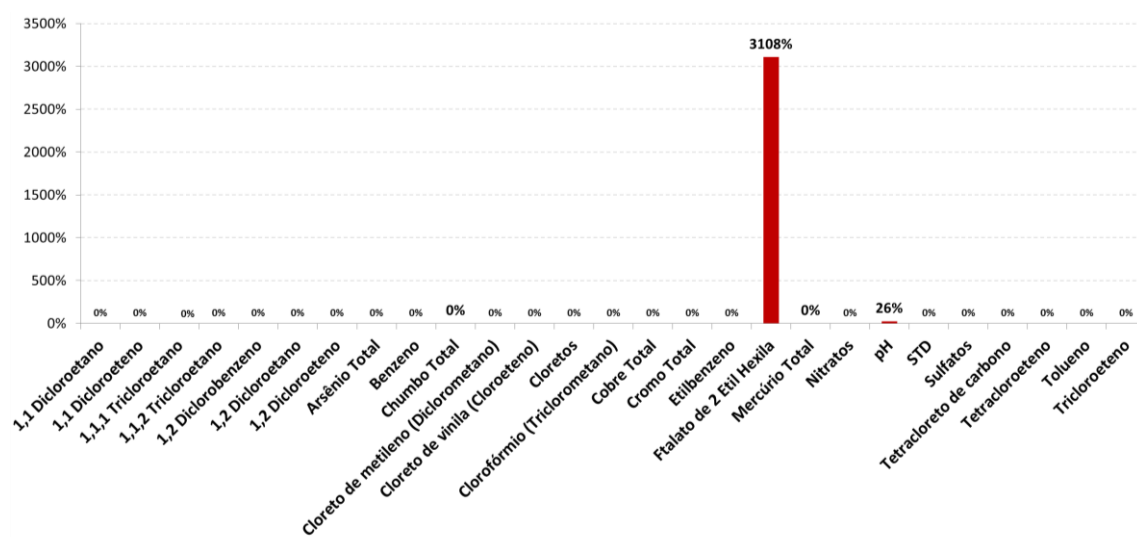


Gráfico B.12 – Comportamento da Bateria 142 nos triênios

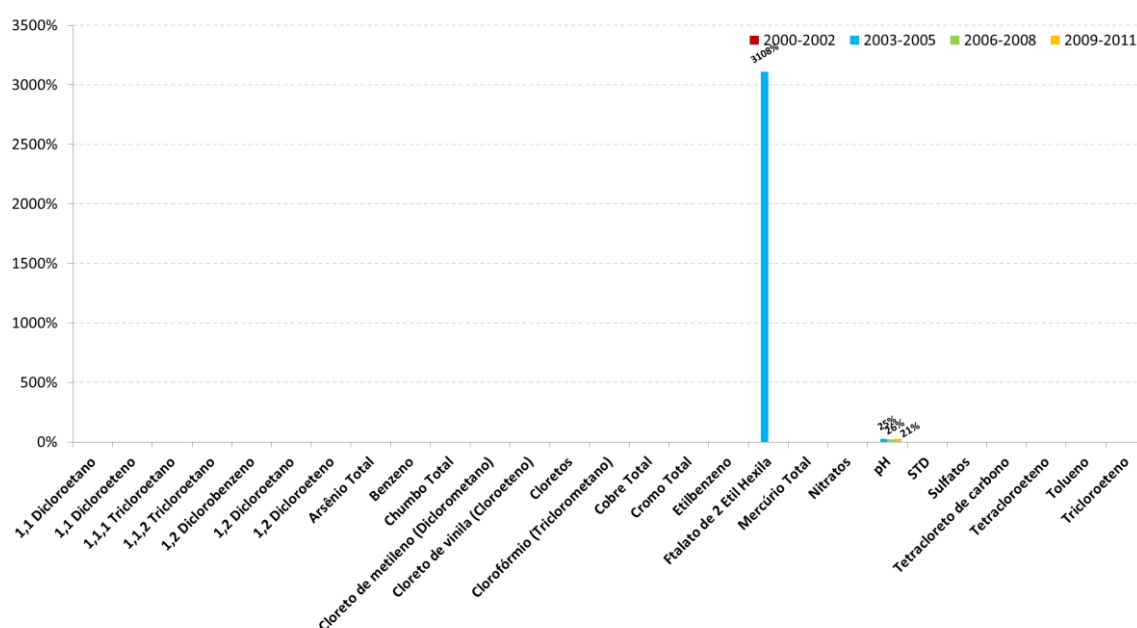


Gráfico B.13 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro 1,2  
Dicloroeteno

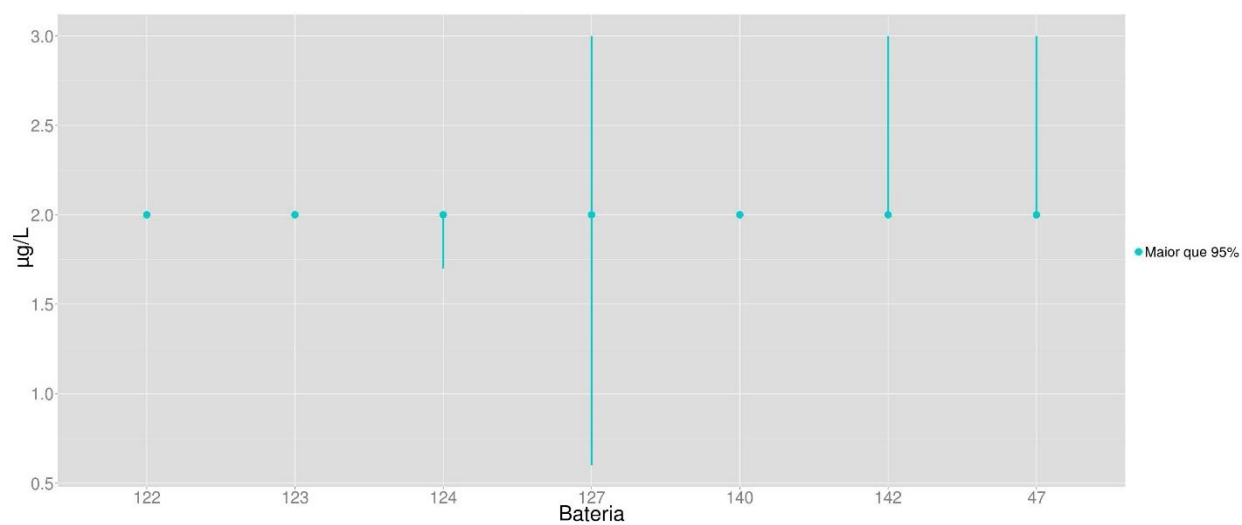


Gráfico B.14 - Dispersão das medidas do 1,2 Dicloroeteno nas baterias

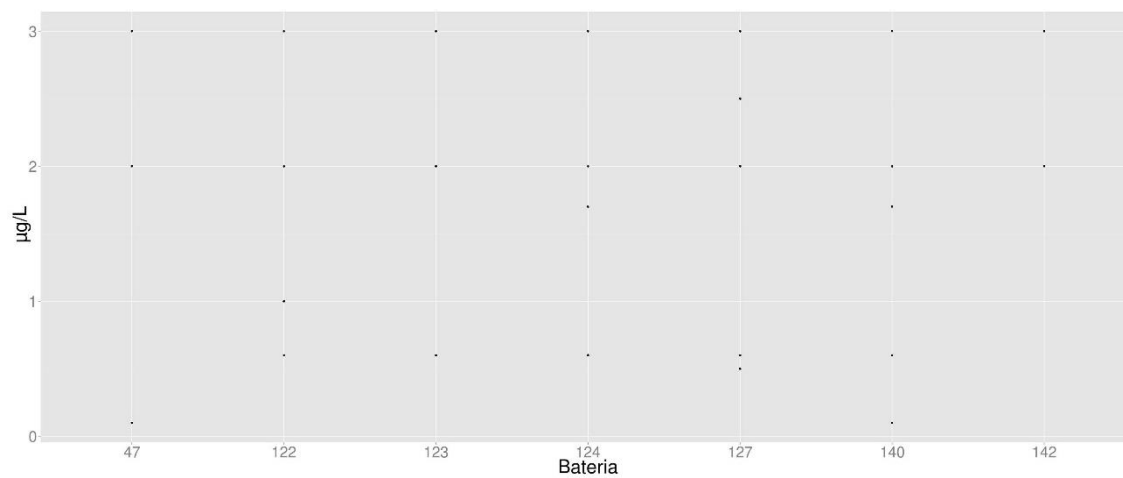


Gráfico B.15 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro Chumbo Total

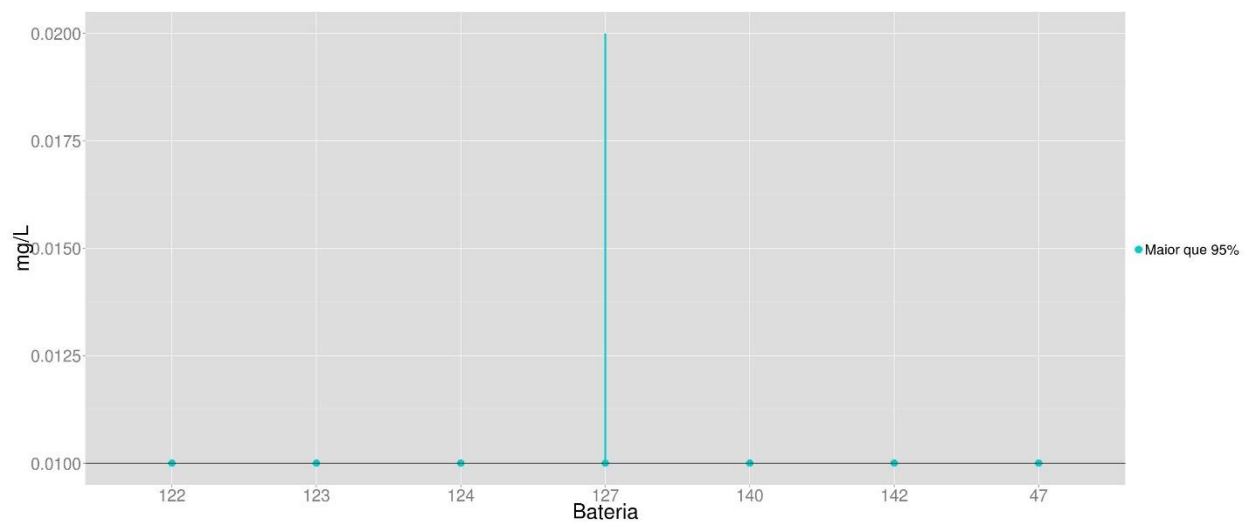


Gráfico B.16 - Dispersão das medidas do Chumbo Total nas baterias

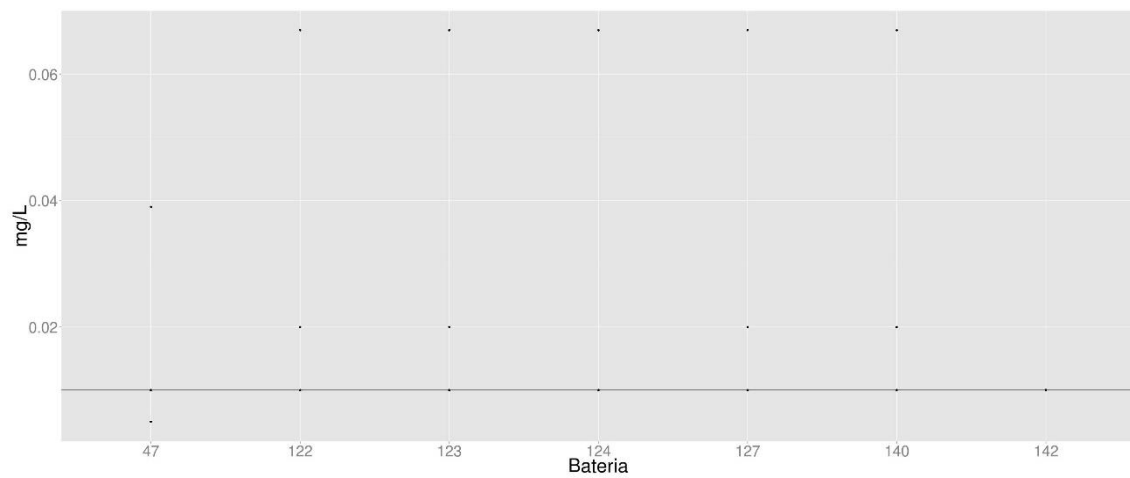


Gráfico B.17 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro Cloretos

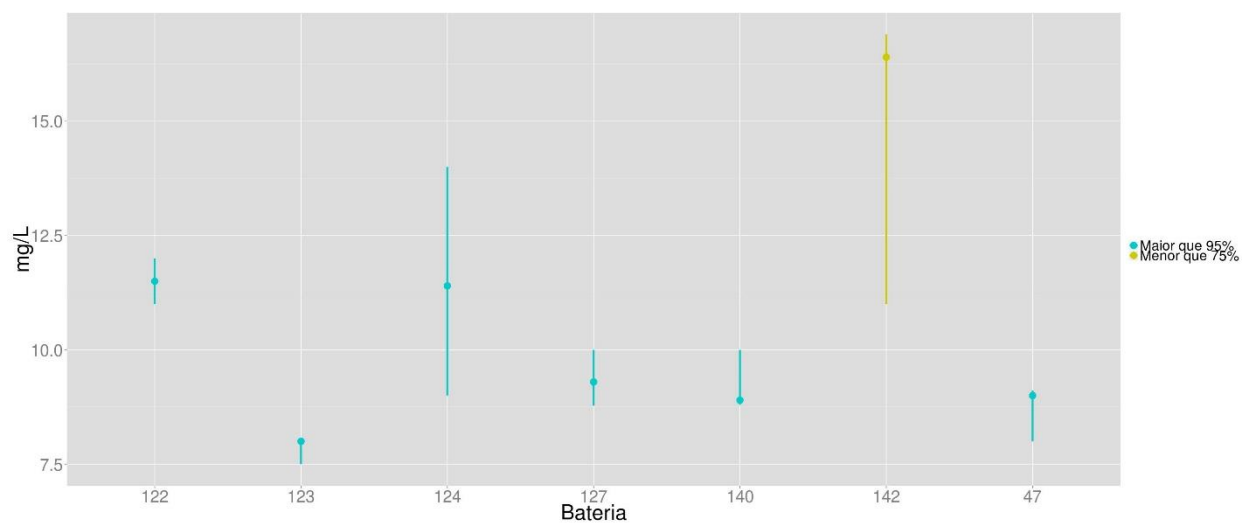


Gráfico B.18 - Dispersão das medidas dos Cloretos nas baterias

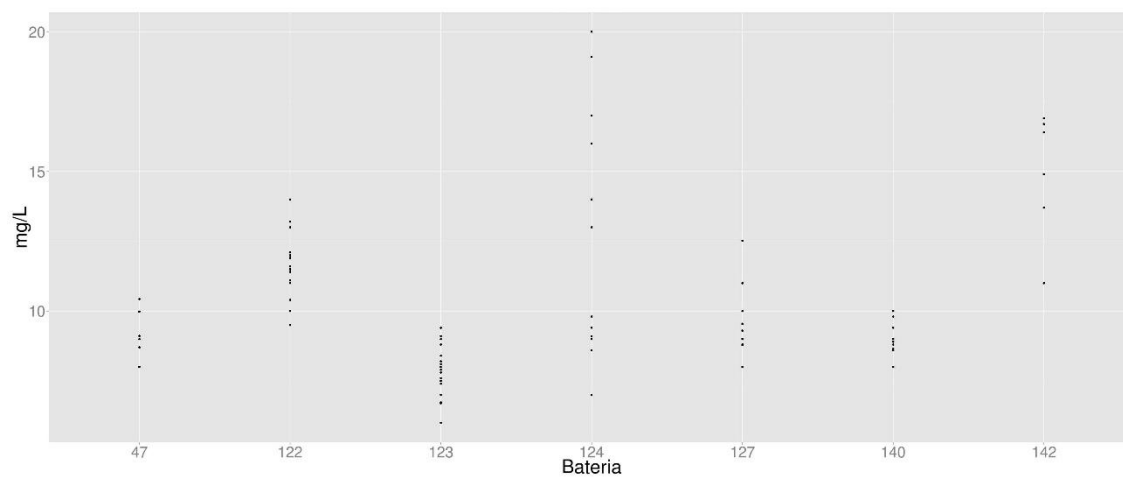


Gráfico B.19 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro Cobre Total

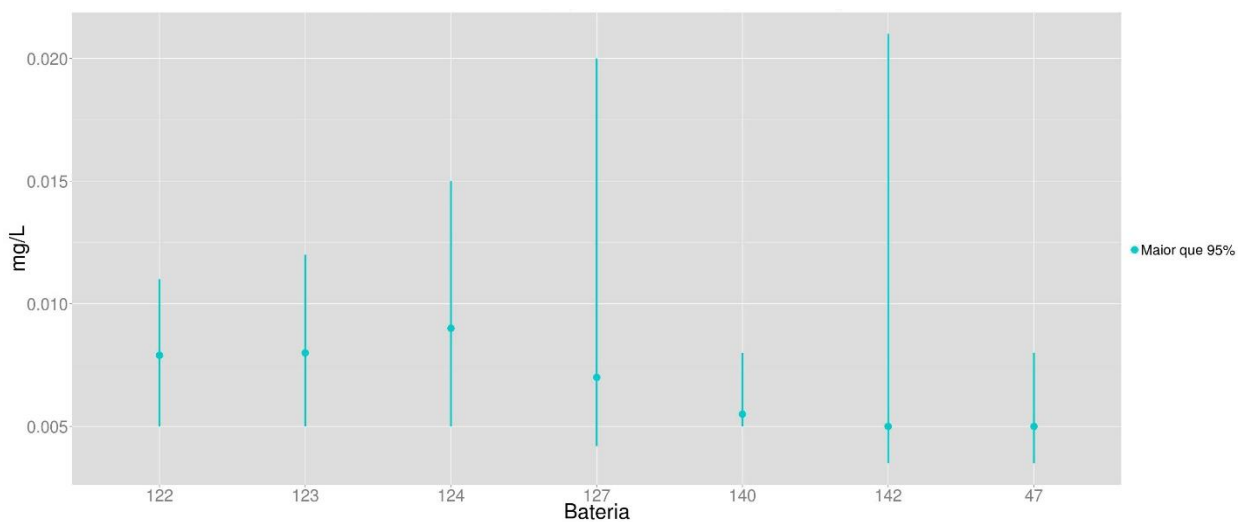


Gráfico B.20 - Dispersão das medidas do Cobre Total nas baterias

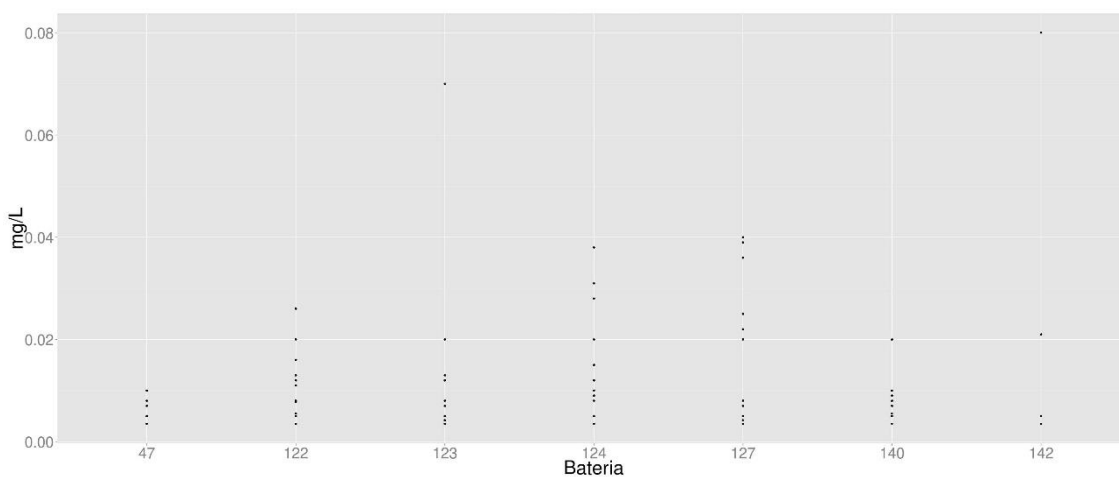




Gráfico B.21 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro Mercúrio

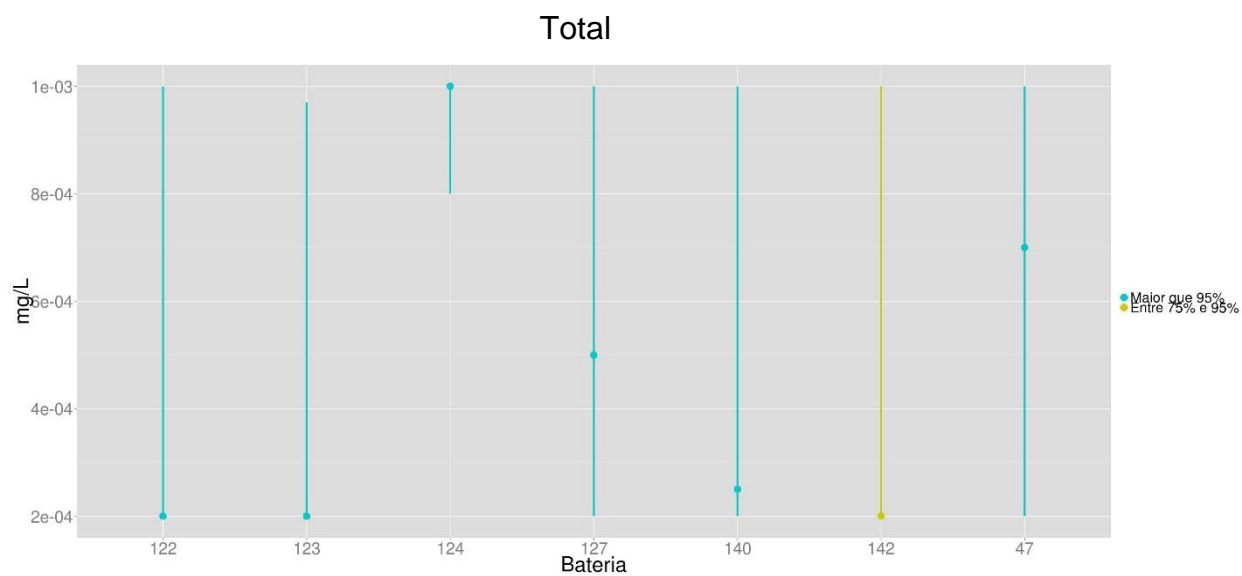


Gráfico B.22 - Dispersão das medidas do Mercúrio Total nas baterias

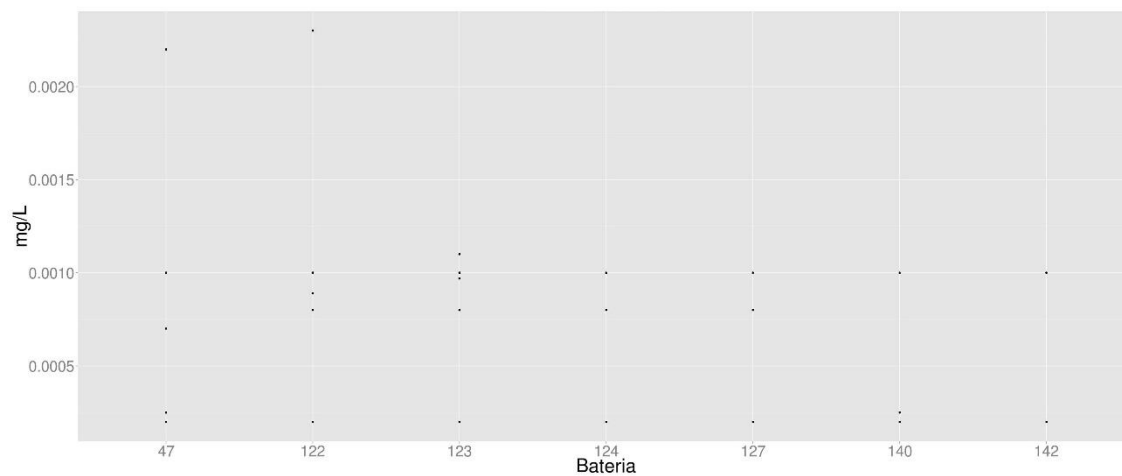


Gráfico B.23 – Intervalos de confiança para mediana do parâmetro STD

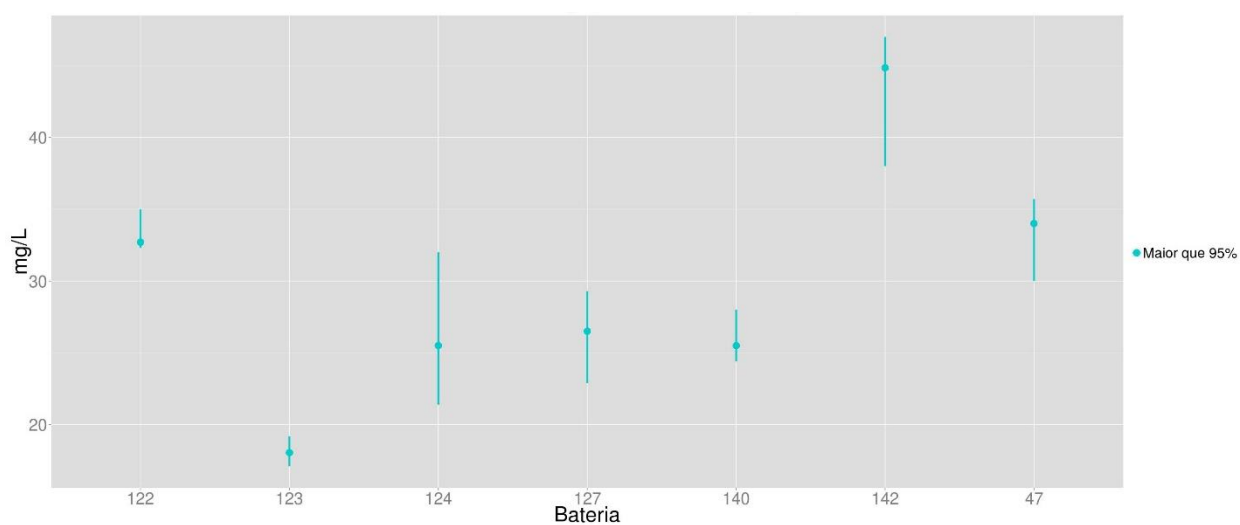


Gráfico B.24 - Dispersão das medidas do STD nas baterias

