



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE QUÍMICA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DOS CEMITÉRIOS DE BRASÍLIA E SEU ENTORNO**

Elias Divino Saba

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira

Goiânia  
2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE QUÍMICA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DOS CEMITÉRIOS DE BRASÍLIA E SEU ENTORNO**

Elias Divino Saba

Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás, como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira

Goiânia-GO  
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)****GPT/BC/UFG**

S113a	<p>Saba, Elias Divino. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas dos cemitérios de Brasília e seu entorno / Elias Divino Saba. – 2011. 88 f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Química, 2011. Inclui listas de figuras e tabelas.</p> <p>1. Aquífero - Cemitérios. 2. Águas subterrâneas – Conservação. 3. Cemitério – Necrochorume. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 556.32:614.61</p>
-------	--

À minha esposa Cira, pelo amor, carinho, amizade, força e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos que preciso; aos meus filhos Israel e Jordana que me incentivaram nesta empreitada e em memória; aos meus pais Tannous Saba e Diba Saba, por me forneceram a oportunidade, ao apoio e aos incentivos necessários para que eu pudesse estudar.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, detentor de toda sabedoria, ciência e conhecimento por me capacitar e me dar condições de chegar até aqui.

Ao Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira. Sou lhe grato por compartilhar sua experiência, pelo incentivo a este projeto e à minha ascensão profissional.

À colega e estudante de Doutorado Prof. Mariana da Silva Godinho que colaborou neste trabalho dando todo o apoio e sua experiência profissional.

Ao colega e estudante de Doutorado Prof. Deangelis Damasceno que também colaborou neste trabalho dando todo o apoio e sua experiência profissional.

À administração da Faculdade de Agronomia e Veterinária – FAV que me incentivou e me apoiou nesta empreitada. Agradeço especialmente ao Prof. Dr. Osvaldo Kiyoshi Yamanishi, e à Prof. Dra. Michelle Vilela, que muito me ajudou na estatística.

Ao Prof. Dr. Pedro Henrique Ferri por passar sua experiência profissional e conhecimentos para confecção deste trabalho.

Ao Quinosan Laboratório Químico Ltda., que nos proporcionou as condições e suporte logístico para realização deste trabalho.

À Rodrigo Macedo da administração dos Cemitérios Contil – (Construção e Incorporação de Imóveis Ltda), que generosamente permitiu a divulgação dos dados.

À professora Marise de Melo Lemes de Rubiataba, Goiás, que me auxiliou na revisão deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. <b>APRESENTAÇÃO</b> .....	1
2. <b>INTRODUÇÃO</b> .....	3
3.1. ANÁLISE MULTIVARIADA.....	11
3.1.1 <b>Ordenação Multivariada</b> .....	12
3.1.1.1 Análise de Correspondência.....	14
3.1.1.2 Análise de Correspondência Canônica....	14
3.1.1.3 Análise de Redundância.....	14
4. <b>OBJETIVOS</b> .....	16
4.1 OBJETIVOS GERAIS.....	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
5. <b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	18
5.1. COLETA DAS AMOSTRAS.....	19
5.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS.....	29
6. <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	32
6.1. ANÁLISE FÍSICO QUÍMICA.....	33
6.2. ANÁLISE MULTIVARIADA.....	37
7. <b>CONCLUSÕES</b> .....	44
8. <b>APÊNDICE 1</b> .....	46
<b>APÊNDICE 2</b> .....	77
9. <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	92

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 –</b>	Modelo conceitual do sistema aquífero para o DF.....	9
<b>Figura 2 –</b>	Mapa hidrogeológico do DF.....	9
<b>Figura 3 –</b>	Mapa de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do DF.....	11
<b>Figura 4 –</b>	Ordenação das amostras A, B, C, D, E em função de (a)uma; (b) duas e (c) três espécies (GAUCH, 1982)....	12
<b>Figura 5 –</b>	Localização das áreas de estudo.....	19
<b>Figura 6 –</b>	Localização das áreas de estudo Taguatinga: 15°48'12.55"S; 48°05'22.78"O. Os piezômetros de Taguatinga estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).....	20
<b>Figura 7 –</b>	Localização das áreas de estudo Plano Piloto: 15°49'03.87"S; 48°55'52.38"O. Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).....	21
<b>Figura 8 –</b>	Localização das áreas de estudo Brazlândia:15°40'43.14"S; 48°11'59.36"O; 48°55'52.38"O. Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).....	22
<b>Figura 9 –</b>	Localização das áreas de estudo Gama:15°59'54.10"S; 48°04'52.74"O. Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).....	23
<b>Figura 10 –</b>	Localização das áreas de estudo Sobradinho: 15°38'12.29"S; 47°49'36.55"O. Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).....	24
<b>Figura 11 –</b>	Localização das áreas de estudo Planaltina: 15°36'31.55"S; 47°38'46.02"O. Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).....	25
<b>Figura 12 –</b>	Localização das áreas de estudo Valparaíso: 16°05'40.59"S; 47°59'09.95"O. Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).....	26

<b>Figura 13</b> –	Esquema construtivo dos poços de monitoração.....	27
<b>Figura 14</b> –	Recipientes usados para coleta de água com capacidade de 100, 250 e 300 mL (a), montagem com o cabo para coleta (b).....	28
<b>Figura 15</b> –	Material de chumbo usado (chumbada) para facilitar a imersão do frasco coletor.....	29
<b>Figura 16</b> -	Diagrama das coletas e análises físico químicas.....	31
<b>Figura 17</b> -	Medianas, valores máximos e mínimos para o pH obtidos para o Cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011. As linhas pontilhadas representam os limites de qualidade (ver tabela 6 pagina 30).....	33
<b>Figura 18</b> -	Medianas para o parâmetro O <sub>2</sub> orgânico obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.....	34
<b>Figura 19</b> -	Medianas para o parâmetro DQO obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.....	34
<b>Figura 20</b> -	Gráficos dos índices pluviométricos dos anos (a) 2007, (b) 2008, (c) 2009, (d) 2010 e (e) 2011. ● Número de dias com chuva. ■ Chuva acumulada Mensal. (Fonte: INMET, 2011).....	35
<b>Figura 21</b> -	Medianas para o parâmetro DBO obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.....	36
<b>Figura 22</b> -	Medianas para o parâmetro turbidez obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.....	36
<b>Figura 23</b> -	Diagrama de ordenação (RDA) das amostras com 3,7% de variância acumulada para o eixo 1 e 6,4% para o eixo 2.....	37
<b>Figura 24</b> -	Diagrama de ordenação (RDA) <i>triplet</i> com 3,7% de variância acumulada para o eixo 1 e 6,4% para o eixo 2.....	39
<b>Figura 25</b> -	Diagrama de ordenação (RDA) <i>triplet</i> para os dois primeiros eixos canônicos com 50% de variância acumulada. Os parâmetros em vermelho indicam os parâmetros explicativos (ambiente), em azul os parâmetros de resposta (espécie) e em preto as amostras.....	40
<b>Figura 26</b> -	Diagrama de ordenação (RDA) dos dois primeiros	

eixos canônicos (P1) Taguatinga, (P2) Plano Piloto, (P3) Braslândia, (P4) Gama, (P5) Sobradinho, (P6) Planaltina (P7) Valparaíso..... 42

**Figura 27 -** Diagrama de ordenação (CCA) *tripplot* para os dois primeiros eixos canônicos com 53,1% de variância acumulada. Os parâmetros em vermelho indicam os parâmetros explicativos (ambiente), em azul os parâmetros de resposta (espécie) e em preto as amostras..... 43

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 –</b>	Composição aproximada do corpo de um homem adulto de 70kg.....	6
	....	
<b>Tabela 2 –</b>	Principais métodos de ordenação usados em Análise Multivariada.....	13
<b>Tabela 3 -</b>	Tabela de distribuição de coleta por ano e local amostrado.....	27
<b>Tabela 4 -</b>	Características das unidades de estudo.....	27
<b>Tabela 5 -</b>	Parâmetros microbiológicos padrões de qualidade de água subterrânea.....	30
<b>Tabela 6 -</b>	Parâmetros físico químicos padrões de qualidade de água subterrânea.....	30
<b>Tabela 7 -</b>	Valores medianos dos parâmetros físicos-químicos amostrados entre 2007 e 2011.....	37
<b>Tabela 8 -</b>	Resultado da RDA para parâmetros físico-químicos e o período de coleta.....	39
<b>Tabela 9 -</b>	Resultado da RDA para parâmetros físico-químicos e o período de coleta.....	40
<b>Tabela 10 -</b>	Resultado da CCA para parâmetros físico-químicos e período de coleta e variável microbiológica.....	43

## Resumo

O presente trabalho avaliou o impacto do necrochorume nos aquíferos freáticos de alguns cemitérios localizados no entorno de Brasília, Distrito Federal, no período de 2007 a 2011. Foram estudados os cemitérios de Braslândia, Plano Piloto, Taguatinga, Gama, Sobradinho e Planaltina, localizados no Distrito Federal, e Jardim Metropolitano (Cemitério e Crematório) de Valparaíso, em Goiás. Análises dos parâmetros físico químicos e microbiológicos das águas subterrâneas foram realizadas para as amostras coletadas em poços de monitoramento. Foram monitorados os parâmetros alcalinidade, pH, oxigênio orgânico, condutividade, cor, dureza, turbidez, teor de ferro, sólidos totais dissolvidos, demanda química de oxigênio e demanda biológica de oxigênio para um total de 342 amostras. De acordo com os resultados obtidos, os valores medianos dos parâmetros físico químicos não se encontram acima do permitido pela legislação. No entanto, foi possível observar que houve um aumento acentuado nas concentrações medianas dos parâmetros, oxigênio orgânico, demanda biológica oxigênio e demanda química de oxigênio no decorrer dos anos de 2007 a 2011. Para avaliar os resultados, propondo a utilização do modelo RDA (Análise de Redundância) de resposta do software CANOCO que faz uma ordenação canônica, uma análise de redundância, como ferramenta na química. E a Análise de Redundância permitiu identificar os parâmetros físico químicos de maior abundância nos locais de coleta, permitindo diferenciar e classificar as amostras de água, foi possível correlacionar os resultados físico químicos e microbiológicos e identificar os locais mais propícios a contaminação, concluindo que houve influência desses fatores, na modificação dos índices de potabilidade dos aquíferos, porém dentro dos parâmetros normativos estabelecidos.

**Palavras-chave:** necrochorume , aquífero freático , cemitérios , águas subterrâneas , conservação.

## ABSTRACT

This study evaluated the impact of necroleachate in the groundwater aquifer of some cemeteries located in towns around the federal district of Brasilia between 2007 and 2011. Cemeteries in Braslândia, Plano Piloto, Taguatinga, Gama, Sobradinho and Planaltina, located in the federal district, were studied including the Jardim Metropolitano (cemetery and crematorium) in Val Paraíso, Goiás. Analysis of physico-chemical and microbiological parameters of underground water samples taken from monitored wells were carried out. The alkalinity, pH value, organic oxygen, conductivity, color, hardness, turbidity, iron content, total quantity of dissolved solid and the chemical and biological oxygen demand of a total of 342 samples were monitored. The result showed that the median values of the physico-chemical parameter obtained are within the range of those permitted by the law. However, it was observed that there was a sharp increase in the median concentration of organic oxygen parameters and the biological and chemical oxygen demand between 2007 and 2011. The results were evaluated using the RDA (Redundancy analysis) model from the CANOCO software which does a canonical ordination and Redundancy analysis, serving as a chemical tool. The Redundancy analysis allowed for the identification of collection areas with the greatest amount of physico-chemical parameters, thereby allowing for separation and classification of water samples. It also became possible to correlate the physico-chemical and microbiological results and identify areas more prone to contamination, hereby ascertaining the influence of these factors in modifying the potability of Aquifers, however within established standard parameters.

**Keywords:** Necroleachate, groundwater aquifer, cemetery, underground water, conservation.

# APRESENTAÇÃO

## 1. APRESENTAÇÃO

Desde a criação das grandes cidades e o acúmulo de pessoas em determinadas áreas existe uma preocupação com o meio ambiente e especificamente com a água, elemento essencial à vida.

Com o Distrito Federal não foi diferente, logo após sua inauguração monitoramentos foram feitos para verificação de como estão os lençóis freáticos, principalmente depois da criação de vários cemitérios em decorrência natural da vida e do desenvolvimento.

O processo chamado de poluição é o resultado das inúmeras atividades do homem que são introduzidas ao meio ambiente através de substâncias físicas que ali não existiam antes ou que existiam em quantidades diferentes. Assim como as atividades desenvolvidas pela humanidade são muito variáveis, também o são as formas e níveis de poluição. Contudo, gerou-se uma preocupação por parte do próprio administrador e também dos órgãos de fiscalização do meio ambiente IBRAM (Instituto Brasília Ambiental), dando-se assim, início ao processo de monitoramento da água coletada no interior dos piezômetros recém perfurados. O monitoramento foi iniciado em Janeiro de 2007 e se estende até a presente data com coletas trimestrais.

Por esse viés, foi desenvolvido este trabalho tentando demonstrar a possibilidade de contaminação ou não dos cemitérios do Distrito Federal e cidades circunvizinhas nos lençóis freáticos da região.

Para tanto, utilizou-se dos recursos cabíveis e exigidos para coletas de dados e análise das amostras chegando assim a resultados confiáveis.

# INTRODUÇÃO

## 2. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam aproximadamente 22% de toda a massa aquática doce no planeta, estimada em 3% (MARTINS et.al, 1991). Em geral, as águas subterrâneas são armazenadas em rochas sedimentares porosas e permeáveis, ou em rochas não porosas, mas fraturadas. Neste último caso, as fraturas geram um efeito físico similar ao da permeabilidade. Um caso menos frequente é o das rochas calcáreas, nas quais até mesmo a baixa acidez das águas da chuva é capaz de abrir verdadeiros túneis, por onde flui a água subterrânea (MARTINS et.al, 1991; Caldwell, 1938).

A qualidade das águas subterrâneas é definida pelas suas características físicas, químicas e biológicas (BARRETO, 2009). Dentro dos valores encontrados para cada um desses parâmetros, é possível estabelecer os diferentes usos para a água. A qualidade dessa água é dada, em princípio, pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos, por ela percolada. Mas essa água tem sofrido a influência de inúmeros fatores em decorrência da atividade humana (FREITAS, 1998; CRUZ et. al., 2009).

Dentre as fontes de poluição, as de maior relevância na contaminação dos aquíferos são: práticas de saneamento em áreas que não dispõem de rede de esgoto; lançamento de efluentes líquidos industriais em corpos de água, ou diretamente no solo; práticas convencionais de cultivo agrícola; e, mais recentemente, a presença de cemitérios (SILVA, FILHO, 2008).

Embora a prática de enterrar corpos remonte à 100 mil anos atrás, somente no século XVIII foi que essa palavra, cemitério, começou a ter o sentido atual (NEIRA et. al., 2008).

Em decorrência do aumento populacional e do consumo de água doce no planeta terem triplicado nos últimos 50 anos, os recursos hídricos disponíveis estão com sua qualidade comprometida. Como consequência, a utilização das reservas de águas subterrâneas vem aumentando, e esses produtos de degradação do corpo humano são abrigo de muitos microrganismos.

Quando um indivíduo morre, o processo de degradação ocorre por ação de enzimas e pela ação bacteriana, produzindo gases e o necrochorume<sup>2</sup>. A infiltração da água da chuva é o principal mecanismo de transporte de substâncias e microrganismos para o aquífero de água subterrâneo.

O primeiro ano de sepultamento do cadáver é considerado do ponto de vista microbiológico o mais importante, elevando o consumo de oxigênio, provocando um acréscimo na quantidade de sais minerais no aquífero freático quando não observado o limite de profundidade de 1,5 metro (FOSTER, HIRATA, 1993; MARINHO, 1998).

Dependendo das condições ambientais, a putrefação do corpo humano pode ser observada a partir de 24 horas da morte, com a formação dos gases em dois ou três dias. A decomposição do corpo pode durar alguns meses ou até vários anos, dependendo da ação ambiental. Em clima tropical, o cadáver demora aproximadamente três anos para ser decomposto; em clima temperado, a decomposição pode durar dez anos (MATOS, 2001).

No corpo humano, ao sofrer putrefação, ocorre a destruição dos tecidos por ação das bactérias e enzimas, resultando na sua dissolução gradual em gases, líquidos e sais. Os gases produzidos são H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>. O odor é causado por alguns destes gases, além de pequena quantidade de mercaptanas (MIGLIORINI, 2004). Na Tabela 1 está descrito a composição aproximada de um corpo de um homem adulto pesando 70 kg. A composição do corpo adulto da mulher situa-se entre um quarto e dois terços à do homem.

---

<sup>2</sup> Neologismo que se forma pela decomposição dos cadáveres em putrefação.

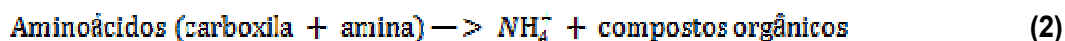
### COMPOSIÇÃO APROXIMADA DO CORPO DE UM HOMEM

**Tabela 1** - Composição aproximada do corpo de um homem adulto de 70 kg (PACHECO, MATOS, 2003).

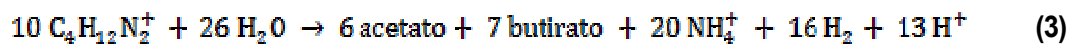
Elemento Químico e Substâncias	Massa (g)
Nitrogênio	1.800
Cálcio	1.100
Fósforo	500
Enxofre	140
Potássio	140
Sódio	100
Cloreto	95
Magnésio	19
Ferro	4,2
Água	49.000 – 51.800

Os cadáveres em putrefação também podem conter microrganismos patogênicos e a contaminação do aquífero se dá pela infiltração no solo das chuvas no solo próximo ao túmulo. Esse necrochorume consiste de uma solução aquosa rica em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, de cor castanhoacinzentada, viscosa, polimerizável, de cheiro forte e com grau variado de patogenicidade (MIGLIORINI, 2004).

O necrochorume é constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas (NEIRA et. al., 2008). A decomposição destas substâncias orgânicas pode produzir diaminas, como a cadaverina ( $C_8H_{12}N_2$ ) e a putrescina ( $C_4H_{12}N_2$ ), que podem ser degradadas, gerando amônio ( $NH_4^+$ ) (FOSTER, HIRATA, 1993). O amônio pode ser gerado, em condições anaeróbias, pela hidrólise das moléculas orgânicas, ou seja:



No solo os clostrídios<sup>3</sup> obtêm a condição adequada para desenvolvimento através da fermentação dos aminoácidos. Os produtos dessa fermentação podem ser: ácido isobutírico, sulfeto de hidrogênio, metilmercaptana, cadaverina e putrescina. Esses clostrídios são capazes de fermentar a putrescina da seguinte forma:



Ao Consumir o oxigênio, a matéria orgânica é oxidada e o amônio é transformado em nitrato, conforme as reações abaixo:



Dessa forma, fatores como o tipo de solo, quantidade de chuvas, colocação do caixão diretamente na terra e profundidade das águas subterrâneas, combinados à falta de higiene, fazem dos cemitérios fontes de materiais orgânicos nocivos ao ser humano (MIGLIORINI et. al., 2006; REZENDE, 2004).

Nas grandes cidades, a probabilidade de contaminação do aquífero pela influência dos cemitérios é muito maior em decorrência do grande número de sepultamentos, além da falta de políticas públicas federais adequadas para preservação da qualidade das águas subterrâneas. No Distrito Federal (DF) os cemitérios são regulamentados pelo Decreto N° 20.502 (1999) de 16 de Agosto de 1999 .

Um exemplo de cidade que cresceu muito nos últimos anos é Brasília (capital do país) e as cidades ao seu entorno. A cidade de Brasília está localizada no DF, na região Centro Oeste do país. Está situada no Planalto Central e apresenta como elemento marcante na sua paisagem as chapadas, que são extensas superfícies de relevo que variam do plano ao

---

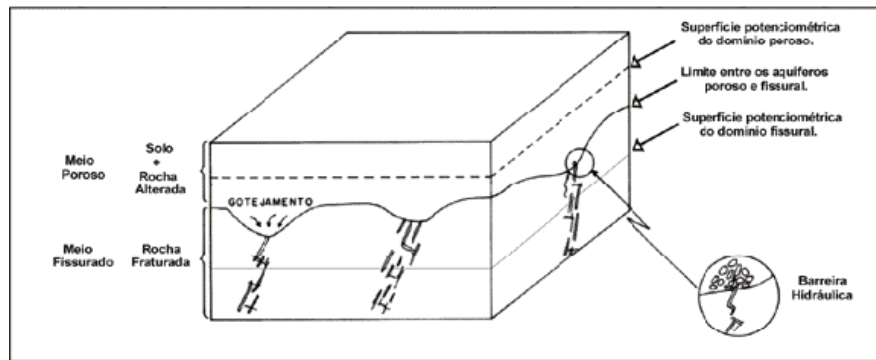
<sup>3</sup> Bactérias anaeróbias, esporíferas, gram-positivas, saprófitas, baculiformes ou fusiformes, da família das Baciláceas, encontradas no solo, no intestino animal e no esterco; estreptobacilo.

suave ondulado. A região está localizada em uma área divisora de bacia na qual os rios são, em geral, de pequeno porte. Essa região é denominada Província Hidrogeológica do Escudo Central, e é amplamente dominada por aquíferos fraturados cobertos por mantos de intemperismo (solos e rochas alteradas) com características físicas e espessuras variáveis (CAMPOS, 2004; DANTAS, 2001).

A geologia do DF é caracterizada por rochas metamórficas, recobertas por espessos solos, podendo ser diferenciados dois grandes grupos de aquíferos, que correspondem à classificação maior dos reservatórios subterrâneos de água: o Domínio Aquífero Poroso e o Domínio Aquífero Fraturado. As principais características desses aquíferos são de produção, estocagem, filtragem e transporte.

Os aquíferos do Domínio Poroso estão instalados no manto detrítico-laterítico que é representado por aluviões, coluviões, eluviões, solos e lateritas (conglomerática, oolítica, pisolítica e brechóide), de idade tércio quaternária (Fanerozóico), estendem-se cerca de 82% da área do DF. Esses aquíferos são caracterizados pelos meios geológicos onde os espaços vazios totais (porosidades) são intergranulares, ou seja, a água ocupa os poros entre os minerais constituintes do corpo rochoso. Este tipo de aquífero compõe o sistema de águas rasas. Na Figura 1 está representado o modelo conceitual dos sistemas aquíferos do DF (SOUZA, CAMPOS, 2001; DISTRITO FEDERAL, 2005).

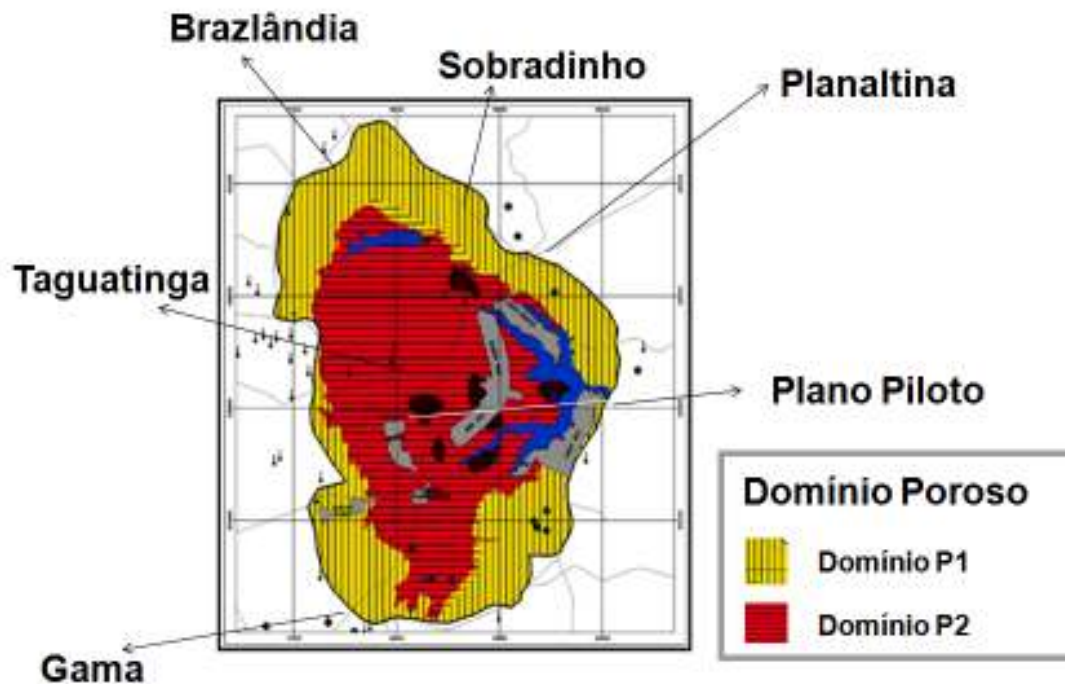
Os aquíferos do Domínio Fraturado são representados por sistemas de aquíferos livres ou confinados, de restrita extensão lateral, com forte anisotropia e heterogeneidade, sendo responsável pelo armazenamento e circulação das águas subterrâneas profundas.



**Figura 1.** Modelo conceitual dos sistema aquífero para o DF (SOUZA, CAMPOS, 2001).

Esses aquíferos se formaram em rochas metamórficas, datadas do período Neo e Mesoproterozóico. Como esses litótipos não apresentam porosidade primária, as águas infiltram-se, circulam, e são armazenadas nas descontinuidades planares dos corpos rochosos, causadas principalmente por falhas, fraturas, zonas de cisalhas, juntas e fissuras (SOUZA, CAMPOS, 2001; DISTRITO FEDERAL, 2005; LOUSADA, 2005).

O mapa hidrogeológico na Figura 2 apresenta a cartografia das distribuições, vazões, qualidades e tipos de reservatórios subterrâneos de água do DF.



**Figura 2.** Mapa hidrogeológico do DF (DISTRITO FEDERAL, 2005).

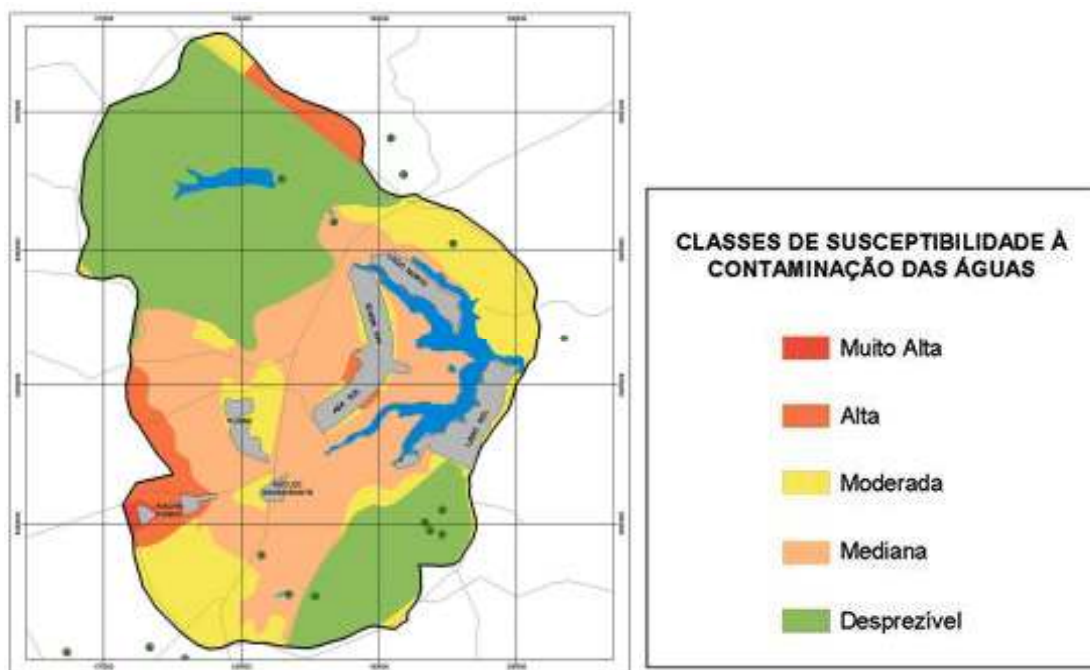
Neste mapa é possível observar que a cidade de Brasília (Plano Piloto) está localizada em aquíferos do Domínio poroso P<sub>1</sub> e Fraturado S/A. O sistema P<sub>1</sub> é caracterizado por apresentar solos predominantemente do tipo

latossolos vermelho amarelo de textura arenosa e areias quartzosas. As unidades geológicas predominantes no sistema P<sub>1</sub> é Q<sub>3</sub>, R<sub>3</sub> e quartzitos da unidade S. Enquanto que o sistema S/A do aquífero Fraturado apresenta ardósias e messalitos (A) e quartzitos(S) como tipo litológico predominante (LOUSADA, 2005; LOUSADA, CAMPOS, 2005; EMBRAPA, 1999).

Os solos classificados como latossolos vermelho-amarelo compreendem solos minerais não hidromórficos com elevada permeabilidade e drenagem acentuada. As quartzosas compreendem solos minerais não hidromórficos, pouco evoluídos, de textura arenosa em toda sua extensão. Esses solos são fortemente permeáveis e excessivamente drenados. São constituídos basicamente por grãos de quartzo, com elevada saturação por alumínio (LOUSADA, 2005; LOUSADA, CAMPOS, 2005; EMBRAPA, 1999).

Em decorrência da elevada permeabilidade por parte desse tipo de solo, foram criadas cartas de vulnerabilidade à contaminação. Essas cartas correspondem a mapas, como o da Figura 3, que incluem os contaminantes pontuais e os que afetam áreas mais amplas.

Os efluentes potenciais considerados são: postos de combustíveis e serviços, cemitérios, poços tubulares profundos, oficinas, estações de tratamento de esgotos, garagens de veículos pesados, depósitos de resíduos domiciliares, agricultura intensiva e ocupação urbana (DISTRITO FEDERAL, 2005).



**Figura 3.** Mapa de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do DF (DISTRITO FEDERAL, 2005).

### 3.1. ANÁLISE MULTIVARIADA

A Análise Multivariada é uma área da estatística que envolve um conjunto de métodos responsáveis por análise simultânea de medidas múltiplas para cada indivíduo ou objeto. Ou seja, qualquer método que permita a análise simultânea de duas ou mais variáveis pode ser considerado como multivariado.

Os métodos estatísticos multivariados são utilizados em diversas áreas da ciência como geologia, psicologia, e ecologia (BRERETON, 2003; GAUCH, 1982). Em Química, as aplicações dos métodos estatísticos multivariados é chamada de Quimiometria (OTTO,1999; MARTENS, NAES, 1989)

Em decorrência da falta de diálogo interdisciplinar, os mesmos procedimentos recebem designações distintas meramente por razões históricas quando usados em áreas diferentes, havendo poucas iniciativas para padronização. Além disto, embora os procedimentos estatísticos sejam os mesmos, há diferenças importantes nos protocolos de análise e nas questões

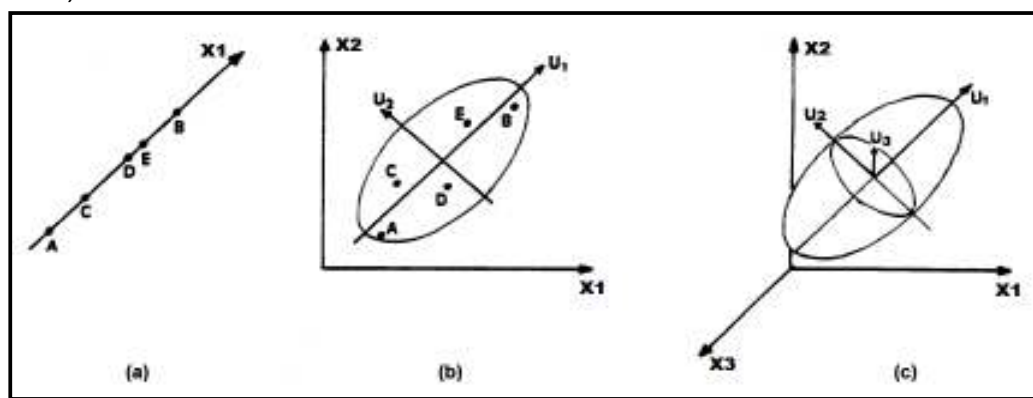
ênfáticas, e raramente uma única área de conhecimento esgota todo o potencial das análises multivariadas que utiliza (OTTO,1999).

Análise Multivariada envolve áreas como Calibração Multivariada, Planejamento e Otimização de experimentos, classificação e ordenação Multivariada (MARTENS, NAES, 1989).

### 3.1.1. Ordenação Multivariada

Ordenação multivariada é um conjunto de métodos estatístico muito utilizado dentro da Ecologia e muito utilizado em tratamento de dados ambientais. Os métodos de ordenação descrevem relações entre objetos de modo a fornecer um pequeno número de variáveis que descrevem as relações entre as medidas físico químicas. O objetivo da ordenação é resumir um grande número de medidas em poucas variáveis sintéticas, facilitando a identificação de padrões.

Em outras palavras, pode-se dizer que ordenar amostras em função de um critério ou espécie consiste em posicionar essas amostras ao longo de um eixo representativo da escala de abundância dessa espécie, conforme a Figura 4 a. Nesta Figura, as amostras A e C encontram-se próximas uma da outra evidenciando uma forte similaridade em função de sua fraca abundância em  $x_1$ . Da mesma forma as amostras B, D e E são similares entre si e dissimilares com A e C em decorrência de sua abundância em  $x_1$  (GAUCH, 1982).



**Figura 4** – Ordenação das amostras A, B, C, D, E em função de (a) uma (b) duas e (c) três espécies (GAUCH, 1982).

Raciocínio similar pode ser feito, quando essas amostras (A, B e C) forem posicionadas em função de 2 ou mais critérios, conforme as Figuras 4b e 4c.

O processo de ordenação é feito a partir das medidas experimentais, ou de uma matriz de distâncias ou de similaridades entre os objetos (MANLY, 2008; PRADO et. al., 2002). Na maioria das técnicas de ordenação, as variáveis sintéticas, também denominadas eixos, ou componentes, são combinações lineares das medidas originais, do tipo:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n, \quad i=1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

Onde  $x_i$  são as variáveis, e  $a_i$  são os seus coeficientes lineares, que expressam sua importância para o eixo. A participação de cada variável em um eixo também pode ser medida pelo seu peso, ou *loading*, que é a sua correlação com o eixo (DILLON, GOLDSTEIN, 1984).

Os métodos de ordenação são classificados em diretos e indiretos, conforme a Tabela 2. Os mais utilizados são: Análise de correspondência (CA, *Correspondence Analysis*), Análise de correspondência canônica (CCA, *Canonical Correspondence Analysis*) e Análise de Redundância (RDA, *Redundancy Analysis*) (LEPS, SMILAUER, 2003; MURTEIRA, 1993).

**Tabela 2** – Principais métodos de ordenação usados em Análise Multivariada (MARTENS, NAES, 1989).

Tipo de Análise	Tipo de Ordenação	Resposta	
		Linear	Não-Linear
Indireto	Ordenação condicionada (simples)	PCA	CA
Direto	Ordenação não condicionada (ordenação canônica)	RDA	CCA

### 3.1.1.1. Análise de Correspondência (CA)

É um método de ordenação muito usado por ecologistas embora seja crescente o seu uso em outras áreas. Neste método, os dados são transformados em valores relativos e a representação gráfica demonstra a menor, ou maior, associação de cada espécie estudada. Na CA espécies e locais são representados sobre o mesmo eixo porque os valores de espécie são uma média dos valores dos locais e vice versa. Assim a análise de correspondência fornece uma ordenação tanto das espécies quanto dos locais, ao mesmo tempo (LEPS, SMILAUER, 2003).

### 3.1.1.2. Análise de Correspondência Canônica (CCA)

A CCA determina a correlação máxima entre combinações lineares de dois conjuntos de dados descritores, e é uma ferramenta adequada para ordenar e analisar matrizes duplas de dados formados por descritores biológicos e físicos. Os grupos de variáveis analisadas podem ser visualizados num espaço multidimensional, muitas vezes menor do que o original, e os coeficientes das funções discriminantes indicarão a contribuição das variáveis originais para cada função (PRADO et. al., 2002).

### 3.1.1.3. Análise de Redundância (RDA)

A Análise de Redundância é um método de ordenação que pode ser visto como uma extensão lógica da regressão múltipla. Sendo que na Análise de Regressão Múltipla é realizada uma relação que envolve tão somente uma variável dependente, e diversas variáveis independentes métricas. Na análise de redundância o objetivo é correlacionar simultaneamente diversas variáveis dependentes (variáveis de critério) com diversas variáveis métricas independentes (variáveis preditoras). Assim a RDA identifica uma estrutura

ótima para cada grupo de variáveis que maximize o relacionamento entre grupos de variáveis dependentes e independentes.

# **OBJETIVOS**

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVOS GERAIS

- Caracterizar a qualidade das águas subterrâneas na área de influência dos cemitérios, através das análises dos parâmetros físico químicos e microbiológicos.
- Avaliar o impacto do necrochorume no aquífero freático encontrado nos cemitérios das cidades de Brasília e seu entorno, nos períodos de 2007 à 2011 usando métodos estatísticos multivariados.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

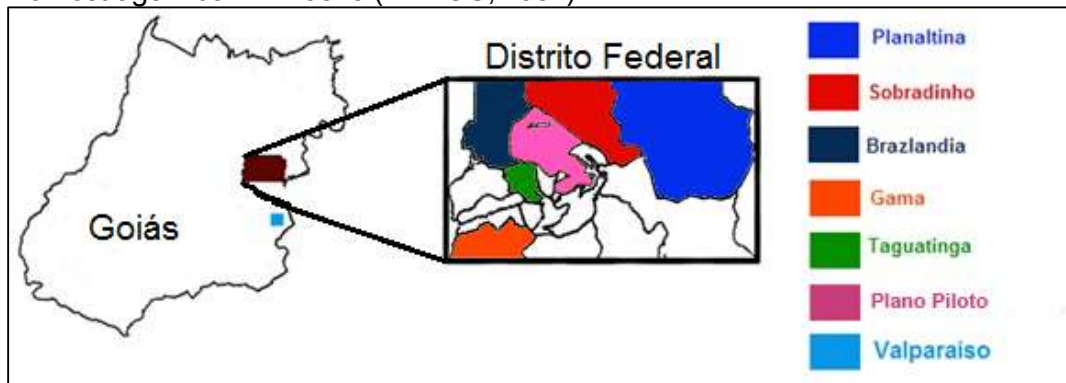
- Realizar análises físico químicas de odor, sabor, alcalinidade, cloro, pH, oxigênio orgânico, fósforo, condutividade, dureza, turbidez, ferro, nitrogênio, cromo, sólidos dissolvidos totais (TDS), manganês, demanda química de oxigênio (DQO), amônia, demanda biológica de oxigênio (DBO), chumbo, mesófilos.
- Realizar análises microbiologias de bactérias coliformes totais (número mais provável) NMP, bactérias coliformes termotoleráveis, proteolíticas, salmonelas, lipolíticas e heterotróficas.
- Realizar análises estatísticas com métodos de Ordenação Canônica.

**PARTE**  
**EXPERIMENTAL**

## 5. PARTE EXPERIMENTAL

### 5.1. COLETA DAS AMOSTRAS

Foram coletadas 342 amostras de água em poços localizados em cemitérios de 6 cidades do Distrito Federal e 1 cidade de Goiás, conforme o mapa da Figura 5. Em cada cemitério foram construídos de três a cinco poços de monitoração (piezômetros), com objetivo de verificar a carga hidráulica do aquífero, monitorar a qualidade da água subterrânea e realizar de testes bacteriológicos e físico-químicos. As amostras foram coletadas nos períodos de janeiro de 2007 a Maio de 2011 e os pontos de coleta foram demarcados de modo a obter uma distribuição representativa do aquífero. A localização dos poços dentro dos cemitérios foi definida através dos estudos e sugestões com base em técnicas de amostragem da NBR 9815 (PIELOU, 1984).



**Figura 5** – Localização das áreas de estudo.

Na Figura 6 está a localização, com suas respectivas coordenadas, da área de estudo de Taguatinga.



(a)



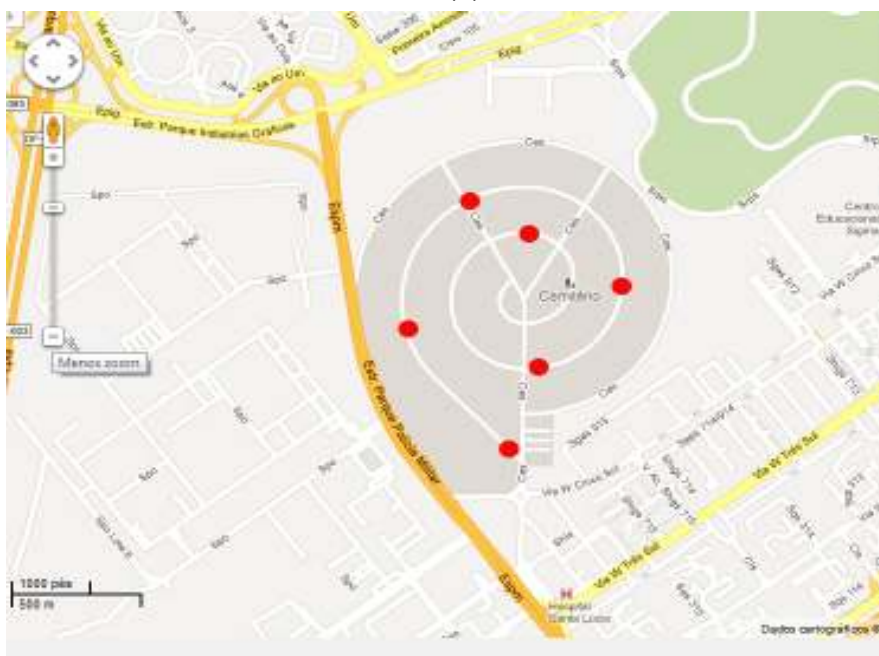
(b)

**Figura 6** - Localização das áreas de estudo Taguatinga:  $15^{\circ}48'12.55''S$ ;  $48^{\circ}05'22.78''O$ . Os piezômetros de Taguatinga estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).

Na Figura 7 está a localização com suas respectivas coordenadas do cemitério Campo Esperança localizado no Plano Piloto.



(a)



(b)

**Figura 7** – Localização das áreas de estudo Plano Piloto:  $15^{\circ}49'03.87''S$ ;  $48^{\circ}55'52.38''O$ . Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).

Na Figura 8 encontra-se a localização dos piezômetros do cemitério de Brazlândia.



(a)



(b)

**Figura 8** – Localização das áreas de estudo Brazlândia:15°40'43.14"S; 48°11'59.36"O; 48°55'52.38"O. Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).

Na Figura 9 está a localização com suas respectivas coordenadas do cemitério do Gama.



(a)



(b)

**Figura 9** – Localização das áreas de estudo Gama:  $15^{\circ}59'54.10''S$ ;  $48^{\circ}04'52.74''O$ . Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).

Na Figura 10 está a localização com suas respectivas coordenadas do cemitério de Sobradinho.



(a)



(b)

**Figura 10** – Localização das áreas de estudo Sobradinho:  $15^{\circ}38'12.29''S$ ;  $47^{\circ}49'36.55''O$ . Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).

Na Figura 11 está a localização com suas respectivas coordenadas do cemitério de Planaltina.



(a)



(b)

**Figura 11** – Localização das áreas de estudo Planaltina:  $15^{\circ}36'31.55''S$ ;  $47^{\circ}38'46.02''O$ . Os piezômetros do Plano Piloto estão destacados com círculos vermelhos. (a) Foto; (b) Mapa. (Fonte: Google Earth).



Na tabela 3 encontra-se o número de amostras coletadas em cada cemitério nos anos de 2007 à 2011.

**Tabela 3** - Tabela de distribuição de coleta por ano e local amostrado.

Ano	Taguatinga	P. Piloto	Brazlandia	Gama	Sobradinho	Planaltina	Valparaiso	Total
2007	18	36	5	5	5	6	4	79
2008	14	13	10	8	9	10	9	73
2009	9	8	8	10	8	7	10	60
2010	11	12	12	15	12	9	6	77
2011	10	9	8	9	7	7	3	53
Total								342

Na tabela 4 é possível observar as características de cada cemitério, assim como a área, a data de inauguração e o número de sepultados.

**Tabela 4** – Características das unidades de estudo.

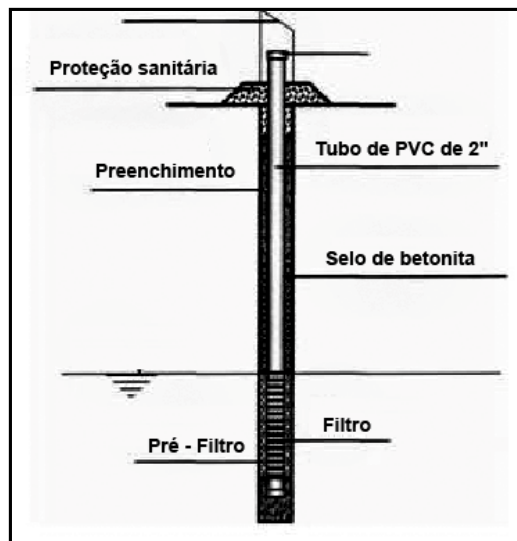
	Taguatinga	Plano Piloto	Brazlândia	Gama	Sobradinho	Planaltina	Valparaiso
Área (m <sup>2</sup> )	466.200	1.368.000	90.000	278.700	234.501	155.249	270.000
Inauguração	17/05/1959	15/01/1959	30/12/1972	03/10/1961	08/11/1962	15/07/1970	01/10/1999
Nº sepultados	113.011	166.543	7.549	37.598	19.069	13.902	3200

Os furos para instalação dos poços foram executados com trado de 4" de diâmetro. O revestimento interno foi feito com tubos de PVC de 2" de diâmetro. O filtro foi formado por ranhuras horizontais de 2 a 3 mm de espessura, espaçadas de 1 cm e envolvidas por uma tela de náilon. O espaço anelar, entre o tubo e o furo, foi preenchido com quartzo moído até cobrir as ranhuras, servindo como pré-filtro.

Na porção acima do pré-filtro, foi colocada bentonita, e acima desta, o solo que foi retirado do furo. Em volta da boca do poço, uma laje de concreto de aproximadamente 40 cm de espessura funcionou como selo sanitário. Acima deste foi colocado um tubo de proteção de ferro, com uma tampa na parte superior, fechada com cadeado para evitar a penetração de elementos estranhos. Os poços foram esgotados após a construção.

Os equipamentos utilizados foram o trado manual de 4", cruzetas, hastes e luvas de ferro galvanizado, ponteira, chaves de grifo, barras de 6 m de PVC branco de 2", luvas e caps plásticos de 60 mm, quartzo moído, bentonita PA 25, tela e linha de *naylon*, cimento, areia, brita, água, tubo de ferro, zarcão,

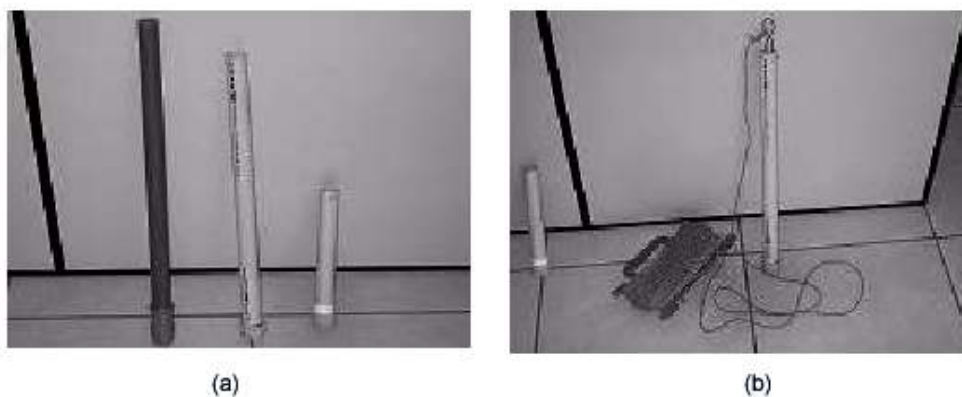
cadeado, serra, trena, amostrador, corda, balde e medidor de nível d'água. A Figura 13 mostra um esquema construtivo dos poços de monitoração.



**Figura 13** – Esquema construtivo dos poços de monitoração.

Os poços foram construídos para atingir a profundidade de 1 m abaixo do nível freático. As cotas dos poços foram determinadas a partir do levantamento aerofotogramétrico realizado pela ADASA (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal), com base no nivelamento geométrico realizado em campo e em rastreamento por satélites através de GPS (“Global Positioning System”). Os poços possuem filtros de 1m, para evitar diluições das amostras nos testes.

Foram criados recipientes para coleta de água com capacidade para 100, 250 e 300 mL, conforme Figura 14. Bem como sua montagem para facilitar a imersão do frasco coletor no poço foram utilizados materiais de chumbo, conforme a Figura 15.



**Figura 14** – Recipientes usados para coleta de água com capacidade de 100, 250 e 300 mL (a), montagem com o cabo para coleta (b).



**Figura 15** – Material de chumbo usado (chumbada) para facilitar a imersão do frasco coletor.

#### 4.2 – ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Após a coleta, as amostras de água foram levadas sob refrigeração para o laboratório de análises químicas Quinosan Laboratório Químico Ltda, localizado na cidade de Brasília, Distrito Federal (DF). Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas com o intuito de verificar se os resultados de qualidade da água e os níveis de contaminação correspondem aos padrões exigidos pelo Ministério da Saúde (Resolução 518/2004) e CONAMA (Resolução nº 396/2008). Esses padrões encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5** – Parâmetros microbiológicos padrões de qualidade de água subterrânea.

<b>BACTÉRIAS<sup>1</sup></b>	<b>PADRÃO MÁXIMO<sup>2</sup></b>
NMP Coliformes totais	Ausência
NMP Coliformes fecais	Ausência
Proteolíticas	Ausência
Clostrídium	Ausência
Salmonella ssp	Ausência
Lipolíticas	Ausência
Heterotróficas	Ausência
E. Coli	Ausência

<sup>1</sup>. Enterobactérias.

<sup>2</sup>. Portaria 518/2004 /MS - CONAMA nº 396/2008.

**Tabela 6** – Parâmetros físico químicos padrões de qualidade de água subterrânea (PORTARIA 518/2004).

<b>Parâmetros</b>	<b>PADRÃO</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>PADRÃO</b>
	NE*	Nitrogênio	<10.000,0 µg/L
Odor	Inodoro	Sabor	Insípido
Alcalinidade	< 500 mg/L CaCO <sub>3</sub>	Côr	15 µH
pH	6,0 a 9,5	Dureza	500 mg/L CaCO <sub>3</sub>
Aspecto	Límpido	Turbidez	5 UT
Oxigênio	>6 mg/L	Ferro	300 µg/L
Fósforo	25 µg/L	Cromo	<50 µg/L
Condutividade	NE	Amonia	150.000 µg/L
Manganês	100 µg	DBO	NE
DQO	3,69	Chumbo	10 µg/L
		TDS	NE*

\*NE – Não Especificado.

As análises microbiológicas foram realizadas usando os métodos de ausência/presença descritos no apêndice II. Na Figura 16 encontra-se um diagrama descritivo do processo de coleta das amostras e das análise físico químicas.

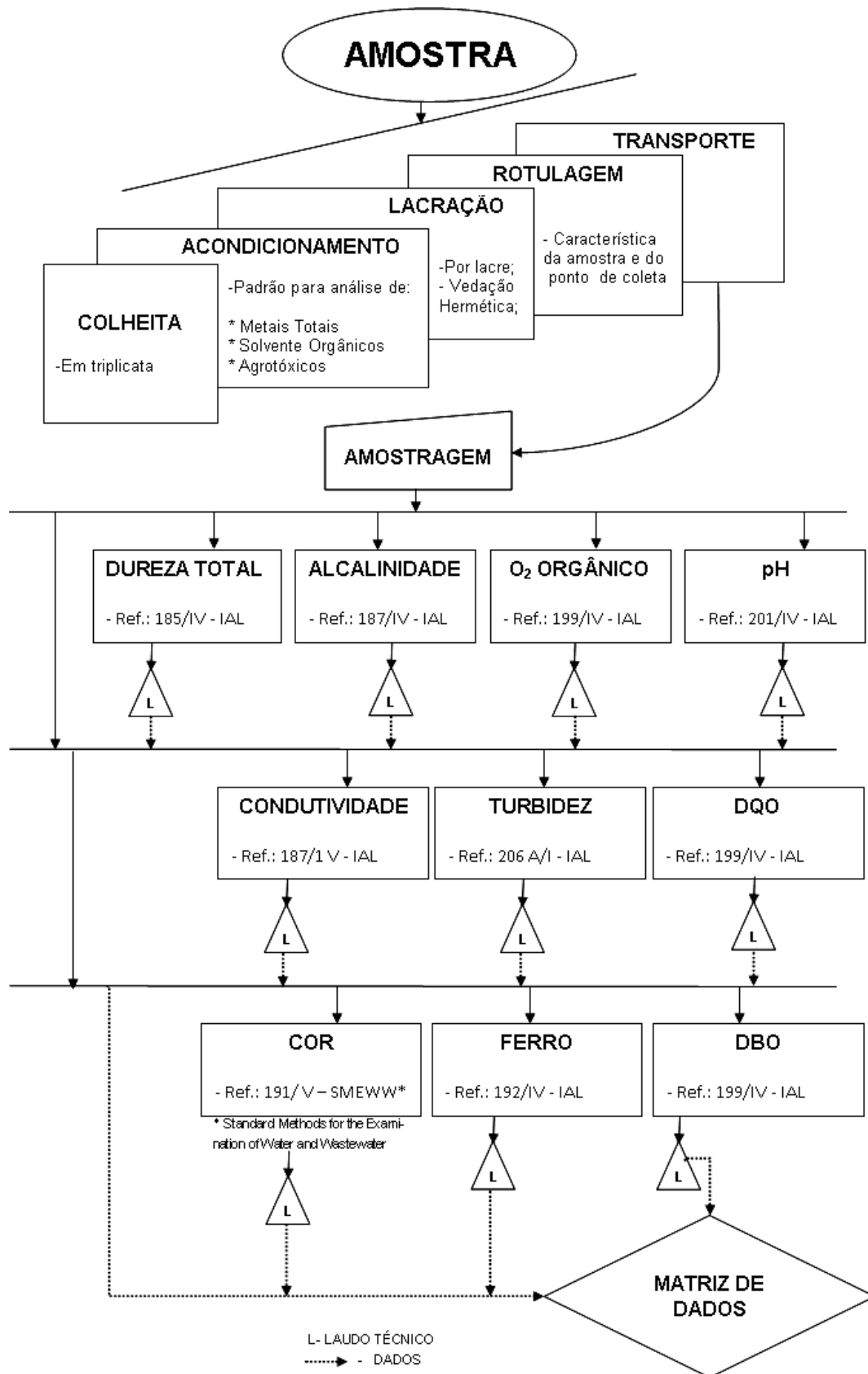


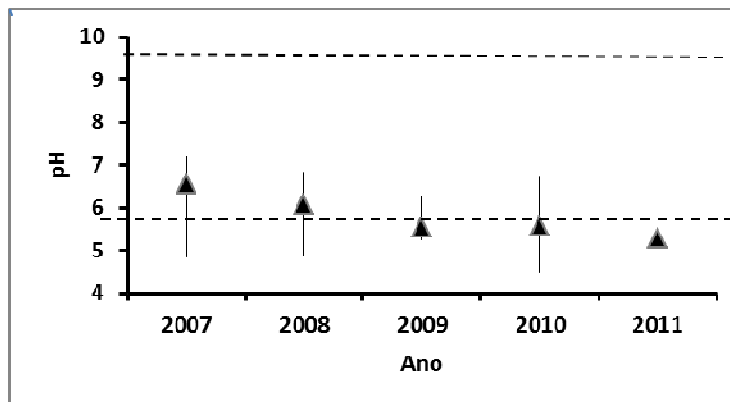
Figura 16 – Diagrama das coletas e análises físico químicas.

**RESULTADOS**  
**E**  
**DISCUSSÃO**

### 6.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

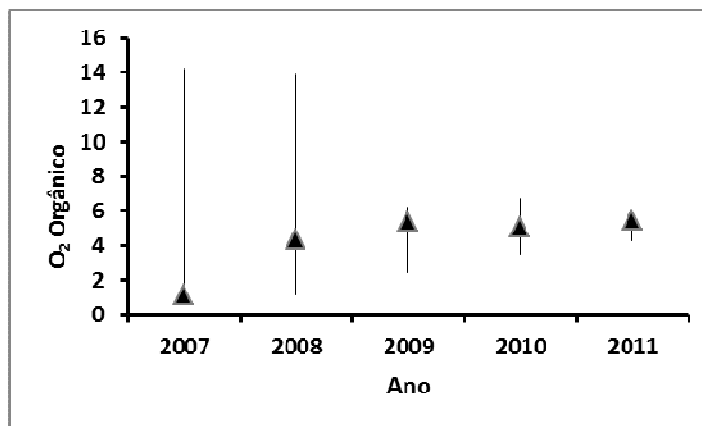
Os resultados das análises físico químicas foram dispostos em uma matriz de dimensão 342 x 11 (342 amostras por 11 variáveis). Para verificar se os dados amostrais se distribuem normalmente, o teste estatístico Kruskal Wallis (MILLER, MILLER, 1993) foi realizado. Esse teste mostrou que nenhum dos parâmetros avaliados distribui-se normalmente. Dessa forma, os resultados serão apresentados em funções das respectivas medianas, valores máximos e mínimos para cada ano amostrado. Na Figura 17 estão apresentados os resultados para os dados de pH quantificados nas amostras de água coletadas nos anos de 2007 à maio de 2011, nos poços de monitoramento do cemitério de Taguatinga,

Os valores medianos de pH vêm diminuindo a cada ano. A partir de 2009 os valores amostrados ficam abaixo dos padrões legais, que é uma característica das regiões de latossolo, conforme a Tabela 6, página 30.



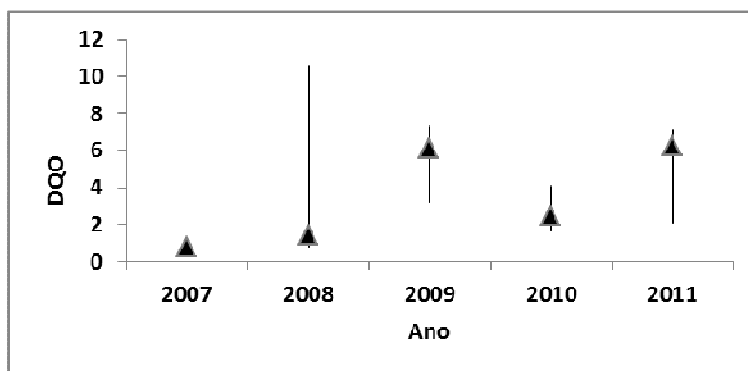
**Figura 17.** Medianas, valores máximos e mínimos para o pH obtidos para o Cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011. As linhas pontilhadas representam os limites de qualidade (ver tabela 6 página 30).

No gráfico da Figura 18 é possível observar os valores das medianas para o parâmetro físico químico  $O_2$  orgânico em função do tempo.



**Figura 18.** Medianas para o parâmetro  $O_2$  orgânico obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.

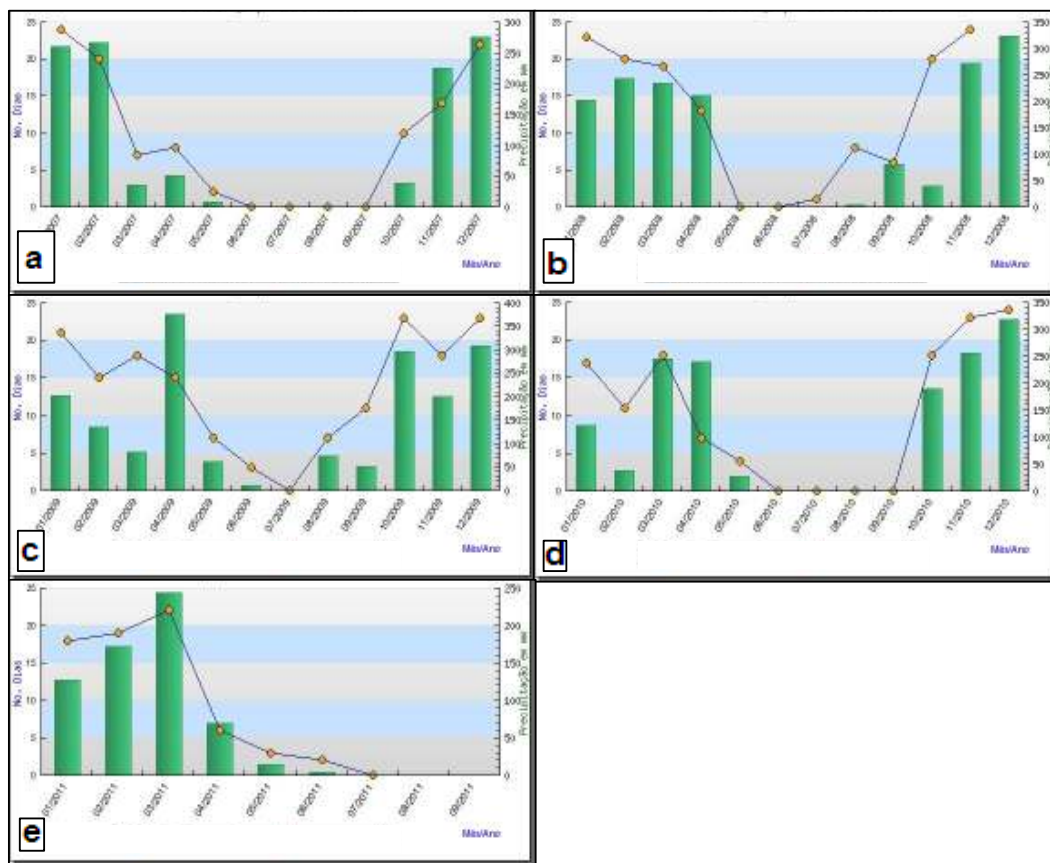
Neste gráfico é possível perceber que os valores do  $O_2$  Orgânico aumentaram dos anos de 2007 a 2011. Após esse período os valores medianos tendem a se estabilizar.



**Figura 19.** Medianas para o parâmetro DQO obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.

No gráfico da Figura 19 é possível observar os valores das medianas do parâmetro físico químico DQO em função do tempo. Os valores das medianas para o parâmetro DQO aumentaram do ano de 2007 até o ano de 2009. No ano de 2010 houve um declínio, voltando a aumentar em 2011. Esse declínio no valor mediano no ano de 2010 pode ser justificado pela baixa precipitação pluviométrica, uma vez que a contaminação do aquífero está diretamente relacionada com o índice pluviométrico, pelo fato que as águas das chuvas lixiviam os resíduos presentes no solo. Nos gráficos da Figura 20 é

possível observar os índices pluviométricos do DF dos anos de 2007 a 2011 e os meses de coleta das amostras.

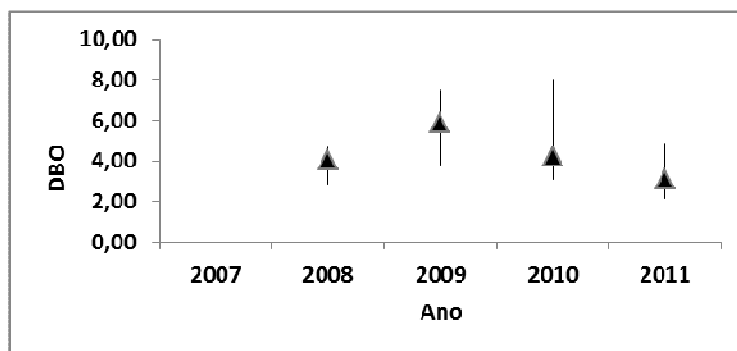


**Figura 20.** Gráficos dos índices pluviométricos dos anos (a) 2007, (b) 2008, (c) 2009, (d) 2010 e (e) 2011. ● Número de dias com chuva. ■ Chuva acumulada Mensal. (Fonte: INMET, 2011).

A contaminação do aquífero freático está diretamente relacionada com o índice pluviométrico e também pela influencia da composição do solo. Quanto maior a precipitação de chuva anual, maior é a condução do material encontrado na superfície do solo para o aquífero freático. No ano de 2010 houve um longo período de estiagem, conforme pode ser observado nos gráficos pluviométricos da Figura 20 d.

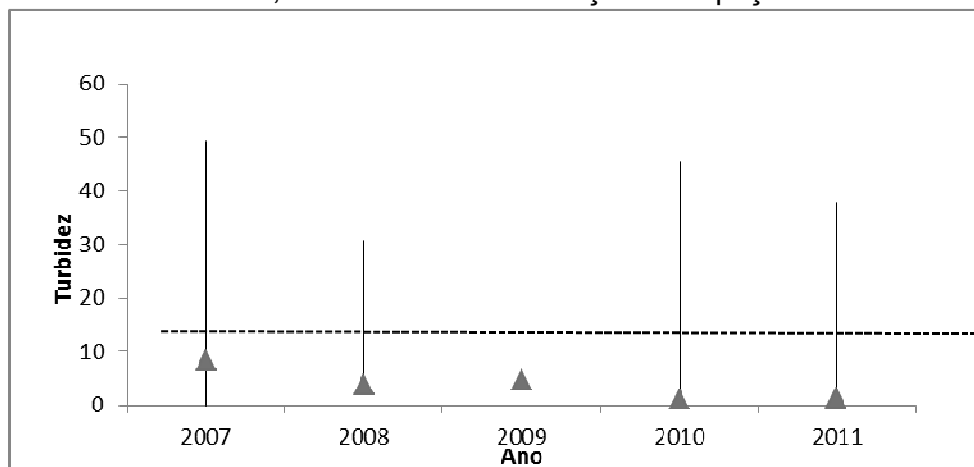
Os resultados obtidos para o parâmetro pH, apresentaram valores no intervalo de 4,5 à 7,2. Na falta das chuvas ocorreu uma diminuição no valor do pH, ficando na faixa de 4,5 à 5,0, com valores característicos das águas subterrâneas locais. Na abundância de chuva o pH aumentou apresentando valores entre 5,0 e 7,2. Como o local da coleta é um aquífero de superfície, houve uma maior influencia da precipitação pluviométrica.

A turbidez assim, como os outros parâmetros quantificados nas amostras de água coletada nos piezômetros, sofreu influência das condições climáticas, do solo local e da perfuração. No gráfico da Figura 21, percebe-se que os valores medianos para o parâmetro físico químico DBO aumentaram nos anos de 2008 e 2009. Após esse período é possível observar uma tendência a diminuição. Uma possível explicação é que a medida que ocorre a percolação da água no solo, tem-se um aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  que interfere na oxigenação.



**Figura 21.** Medianas para o parâmetro DBO obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.

No gráfico da Figura 22, é possível observar os valores medianos do parâmetro físico químico turbidez em função do tempo. Os valores medianos para o parâmetro turbidez apresentaram resultados elevados no ano de 2007. É possível inferir que esse resultado ocorreu em decorrência da interferência da ação das grandes quantidades de precipitação de chuvas no período de início das atividades, recorrente das instalações dos poços.



**Figura 22.** Medianas para o parâmetro turbidez obtidos para o cemitério de Taguatinga no período de 2007 a 2011.

Na Tabela 7 estão descritos os valores medianos para os parâmetros quantificados nas amostras de água coletadas durante todo o período de amostragem (2007 à 2011).

**Tabela 7** – Valores medianos dos parâmetros físicos químicos amostrados entre 2007 e 2011.

Parâmetros	Mediana	Parâmetros	Mediana
Alcalinidade (mg/L)	18,97	pH	5,74
O <sub>2</sub> orgânico (mg/L)	4,70	Condutividade (µS)	34,38
Cor (mg/L Pt)	2	Dureza Total (mg/L)	12,24
Turbidez (EBC <sup>4</sup> )	1,5	Ferro (mg/L)	1,28
TDS (mg/L)	28,25	DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	3,28
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	2,84		

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, é possível observar que todos os demais parâmetros físico químicos não se encontram acima do permitido, estando dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente, conforme a Tabela 6 página 30.

Os resultados medianos das outras unidades de coleta apresentaram valores semelhantes, e encontram-se descritos no apêndice 1.

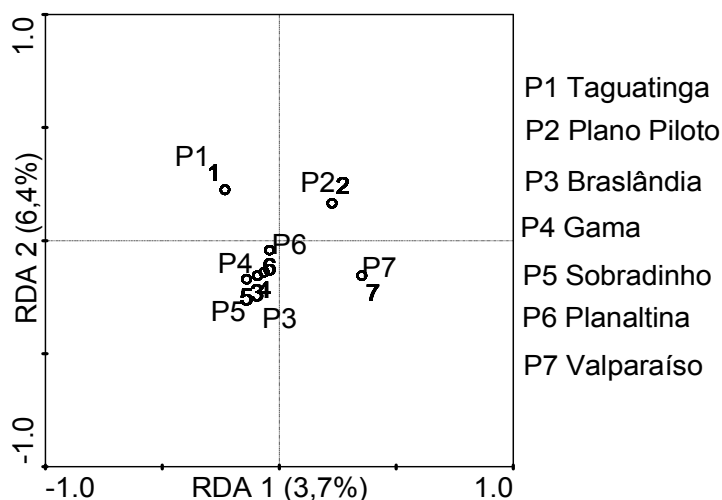
## 6.2. ANÁLISE MULTIVARIADA

Foram construídas duas matrizes, uma contendo os parâmetros físico químicos, composta por 342 amostras e 11 variáveis (alcalinidade, pH, O<sub>2</sub> orgânico, condutividade, cor, dureza, turbidez, Ferro, TDS, DQO e DBO). A segunda matriz foi utilizada como matriz explicativa para condicionar os parâmetros físico químicos e ordená-los, sendo composta por 342 amostras, 2 variáveis microbiológicas (NMP totais e mesófilos) e 12 variáveis discretas (loais: Taguatinga, Plano piloto, Braslândia, Gama, Sobradinho, Planaltina, Valparaíso; e períodos: 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011). Para testar a existência de relações significativas entre os parâmetros discretos e/ou microbiológicos com os parâmetros físico, químicos foram construídos modelos RDA e CCA com transformação logarítmica. As análises foram realizadas no programa CANOCO 4.5 (TER, SMILAUER, 2011).

O primeiro modelo RDA foi construído foi usando como variáveis respostas os parâmetros físicos químicos, e como variáveis explicativas os locais de amostragem. O teste de permutação de Monte Carlo, com 499

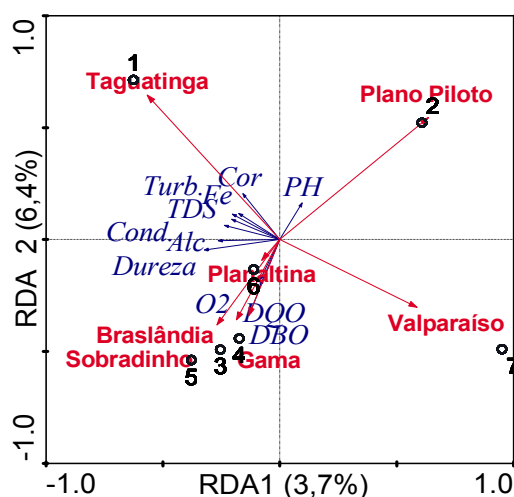
<sup>4</sup> EBC - *European Brewery Convention*.

permutações, mostrou que há influência significativa entre os parâmetros físico químicos das amostras de água com os respectivos locais em que foram coletadas, conforme os dados da Tabela 8. Através da RDA foi possível agrupar as 342 amostras em 7 grupos que correspondem aos 7 locais em que foram feitas as coletas, podendo ser verificado no gráfico da Figura 22.



**Figura 23.** Diagrama de ordenação (RDA) das amostras com 3,7% de variância acumulada para o eixo 1 e 6,4% para o eixo 2.

Para esse modelo RDA foi feito um gráfico *triplot*, conforme Figura 24. Neste gráfico é possível observar que no Plano Piloto, a propriedade físico química pH apresenta maior abundância. Isso decorre do fato dessa região estar localizada em aquífero do tipo Poroso com predominância de solo tipo P<sub>1</sub>. As águas desse tipo de aquífero são mais ácidas em relação às águas encontradas em aquífero Fraturado (LOUSADA, CAMPOS, 2005; EMBRAPA, 1999). Os parâmetros O<sub>2</sub> orgânico, DQO e DBO estão ordenados nos eixos de Gama, Sobradinho, Braslândia e Planaltina. Isso ocorre em decorrência desta região ser muito sedimentar propiciando uma maior percolação.



**Figura 24.** Diagrama de ordenação (RDA) *triplo*t com 3,7% de variância acumulada para o eixo 1 e 6,4% para o eixo 2.

Na Tabela 8 é possível observar que os autovalores para os dois primeiros eixos são pequenos, no entanto o teste de monte Carlo mostrou que ambos são significativos e os dois primeiros eixos explicam 88,9% da variância acumulada dos eixos canônicos.

**Tabela 8 –** Resultado da RDA para parâmetros físico químicos e locais de coleta.

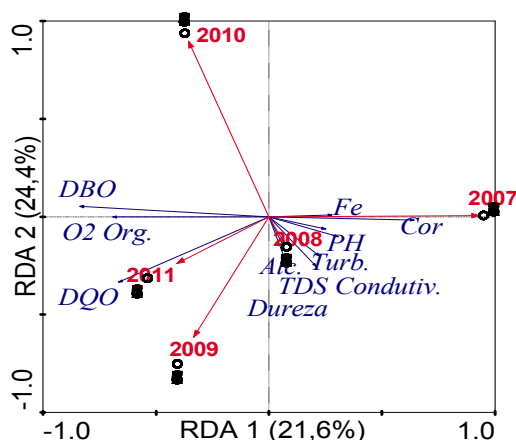
Autovalor	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Teste de Monte Carlo			
					autovalor	Eixo 1	Eixo 2	Todos os eixos
	0,037	0,027	0,005	0,002				
Correlação entre espécies-ambiente (propriedades físico-químicas- locais)	0,377	0,310	0,222	0,190		0,037	0,048	0,072
Percentual de variância acumulada das espécies	3,7	6,4	6,9	7,2	Valor de F	12,944	8,572	4,351
Percentual de variância acumulada da relação espécie-ambiente	51,5	88,9	95,8	99,0	Valor de P	0,002	0,002	0,002

Para avaliar a abundância dos parâmetros físico químicos em função do tempo, foi construído outro modelo RDA, onde as variáveis explicativas foram os anos de 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011. Foram mantidos os mesmos parâmetros físico químicos para as espécies.

No gráfico *triplo*t para esse modelo, representado na Figura 25, é possível observar que no ano de 2007, os parâmetros cor e concentração de ferro estão ordenados no mesmo eixo. Isso pode ser explicado pelo fato de ser o início do processo de coleta das amostras. Nesse início de processo houve

muito atrito com o solo na etapa de perfuração dos poços de monitoramento acarretando alteração de cor e na concentração de ferro.

Para o período de 2009 e 2011 estão ordenados os parâmetros ambientais, oxigênio orgânico, DBO e DQO. Isso mostra que houve um aumento da matéria orgânica entre os períodos de 2007 e 2009 e 2011. O ano de 2010 foi atípico em decorrência do baixo índice pluviométrico. Os resultados mostraram que um longo período de estiagem, diminuiu a contaminação do aquífero freático. Nos resultados da RDA mostrados na Tabela 9, pode-se observar alta correlação entre as variáveis de resposta e variáveis explicativas onde os dois primeiros eixos explicam 96,5% da variância acumulada da relação espécie-ambiente dos eixos canônicos.



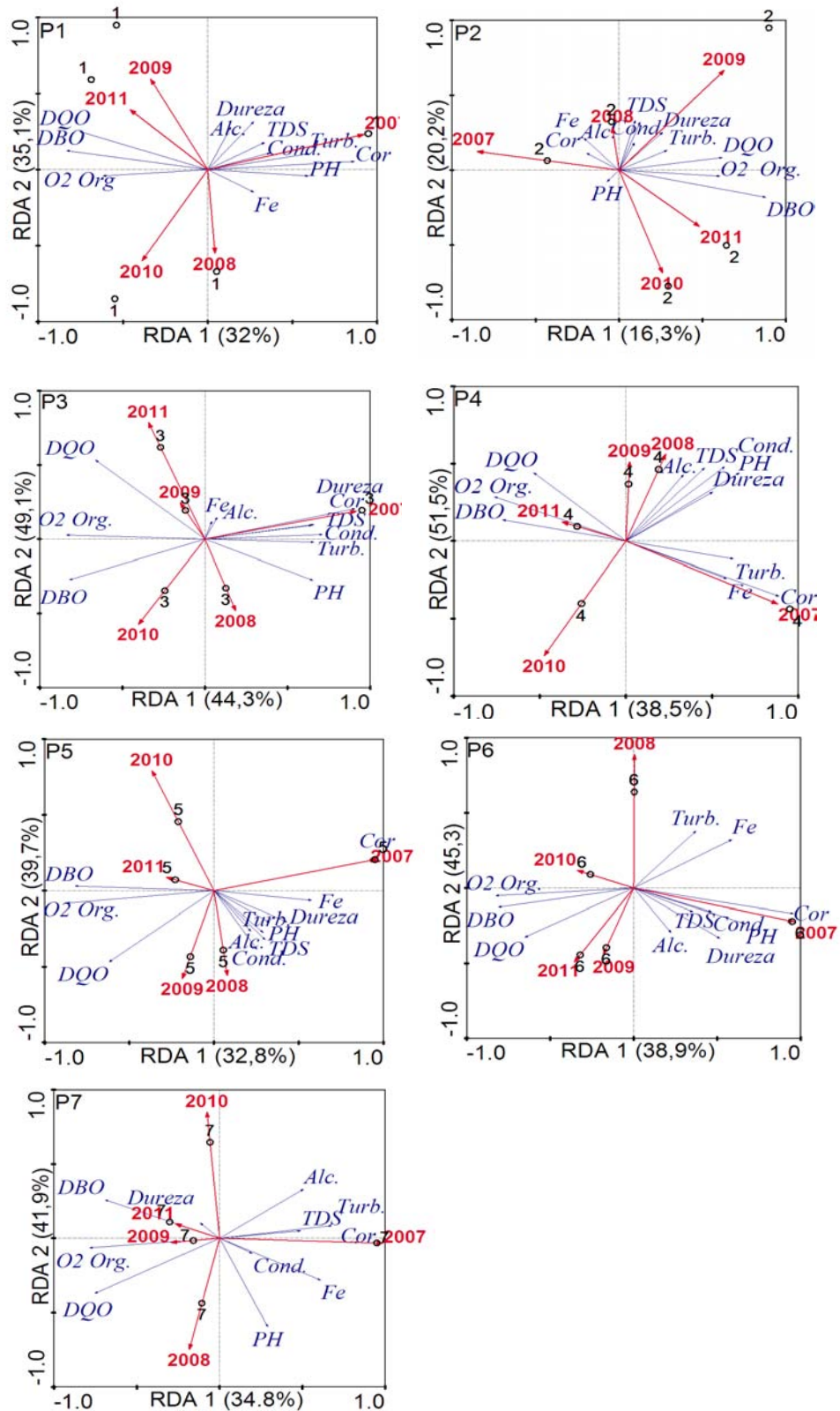
**Figura 25.** Diagrama de ordenação (RDA) triplot para os dois primeiros eixos canônicos com 50% de variância acumulada. Os parâmetros em vermelho indicam os parâmetros explicativos (ambiente), em azul os parâmetros de resposta (espécie) e em preto as amostras.

**Tabela 9 –** Resultado da RDA para parâmetros físico químicos e o período de coleta.

Autovalor	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Teste de Monte Carlo			
					Eixo 1	Eixo 2	Todos os eixos	
Correlação entre espécies-ambiente (propriedades físico-químicas- locais)	0,216	0,028	0,005	0,004	autovalor	0,216	0,028	0,252
Percentual de variância acumulada das espécies	21,6	24,4	24,8	25,2	Valor de F	92,676	9,941	28,436
Percentual de variância acumulada da relação espécie-ambiente	85,5	96,5	98,5	100	Valor de P	0,002	0,0020	0,002

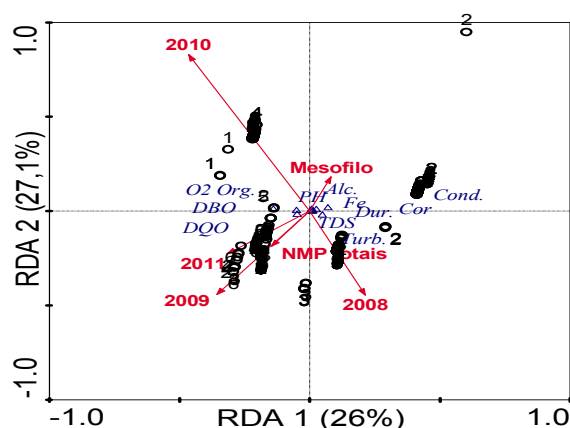
Foram construídos sete modelos RDA's, conforme o gráfico da Figura 25, com objetivo de verificar a variação dos parâmetros físico químicos em cada local em função do tempo, foi utilizada como variáveis explicativas os

anos de 2007, 2008 e 2009. Através dos gráficos é possível observar que em todos os locais, os parâmetros físico-químicos ambientais como DBO, DQO e O<sub>2</sub> orgânico são ordenados nos eixos dos anos de 2009 e 2011. Isso evidencia o aumento da matéria orgânica ao longo dos anos. Vale salientar que o ano de 2010 foi atípico em relação ao índice pluviométrico.



**Figura 26.** Diagrama de ordenação (RDA) dos dois primeiros eixos canônicos (P1) Taguatinga, (P2) Plano Piloto, (P3) Braslândia, (P4) Gama, (P5) Sobradinho, (P6) Planaltina (P7) Valparaíso.

Foi construído um modelo CCA com os anos (2007, 2008, 2009, 2010 e 2011) e parâmetros microbiológicos (NMP totais e mesófilos) como variáveis ambientais (explicativas), e os parâmetros físico químicos com espécies. O gráfico *triplot*, para esse modelo está representado na Figura 27. Nesse gráfico é possível observar os parâmetros O<sub>2</sub> orgânico, DBO e DQO estão ordenados nos eixos dos anos de 2009 e 2011, evidenciando o aumento dos parâmetros ambientais, assim como o aumento da contaminação. Há uma abundância acentuada das variáveis NMP totais. Essa abundância pode ser explicada pelo aumento da matéria orgânica no aquífero, em consequência do crescimento populacional e aumento do número de necrófilas. Além disso, há uma abundância acentuada no ano de 2010. Isso ocorre devido à baixa contaminação em decorrência do longo período de estiagem.



**Figura 27.** Diagrama de ordenação (CCA) *triplot* para os dois primeiros eixos canônicos com 53,1% de variância acumulada. Os parâmetros em vermelho indicam os parâmetros explicativos (ambiente), em azul os parâmetros de resposta (espécie) e em preto as amostras.

Na Tabela 10 encontra-se os resultados para o modelo CCA.

**Tabela 10** – Resultado da CCA para parâmetros físico químicos e período de coleta e variável microbiológica.

Autovalor	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Teste de Monte Carlo			
					Eixo 1	Eixo 2	Todos os eixos	
Correlação entre espécies-ambiente (propriedades físico-químicas- locais)	0,03	0,01	0,001	0,000	autovalor	0,03	0,01	0,033
Percentual de variância acumulada das espécies	26,0	27,1	27,6	26,0	Valor de F	117,48	19,539	21,922
Percentual de variância acumulada da relação espécie-ambiente	92,1	96,1	97,9	99,2	Valor de P	0,002	0,0020	0,002

# **CONCLUSÃO**

Através da Análise de Redundância foi possível classificar as 342 amostras de água em seus respectivos locais de amostragem. As análises físicas químicas e microbiológicas das amostras de água não apresentaram resultados acima do estabelecidos pelo Ministério da Saúde. No entanto, foi possível observar um aumento acentuado de matéria orgânica ao longo dos anos de 2007, 2008 e 2009.

Através dos gráficos é possível observar que em todos os locais, os parâmetros físico-químicos ambientais como DBO, DQO e O<sub>2</sub> orgânico são ordenados nos eixos dos anos de 2009 e 2011. Isso evidencia o aumento da matéria orgânica ao longo dos anos. Vale salientar que o ano de 2010 foi atípico em relação ao índice pluviométrico.

A Análise de Redundância permitiu identificar os parâmetros físico químicos de maior abundância nos locais de coleta, permitindo diferenciar e classificar as amostras de água.

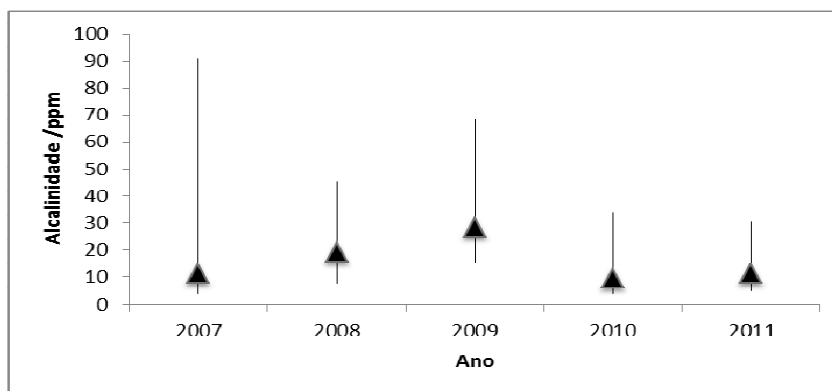
Logo, foi possível correlacionar os resultados físico químicos e microbiológicos e identificar os locais mais propícios a contaminação, concluindo que houve influencia desses fatores, na modificação dos índices de potabilidade dos aquíferos, porém dentro dos parâmetros normativos estabelecidos.

# APÊNDICE 1

## GRÁFICOS E RESULTADOS PARA PLANO PILOTO

**Tabela A1.1** – Medianas, valores máximo e mínimo de alcalinidade nos anos de 2007 à 2011.

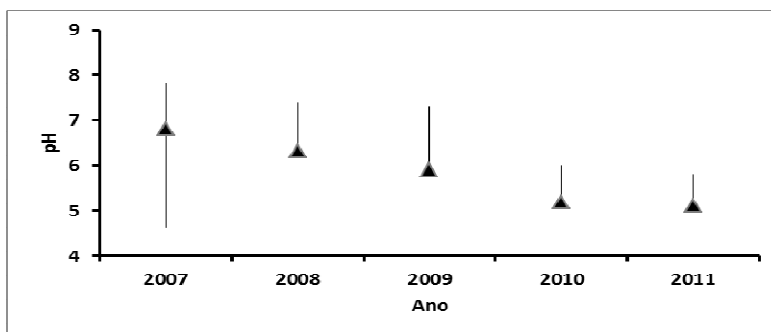
Ano	Alcalinidade /ppm		
	Maior	Menor	Mediana
2007	91,06	3,79	11,38
2008	45,53	7,50	18,97
2009	68,29	15,18	28,46
2010	34,15	3,79	9,49
2011	30,35	4,63	11,38



**Figura A1.1.** Gráfico das medianas de alcalinidades quantificadas nas amostras coletadas no Plano Piloto no período de 2007 à 2011.

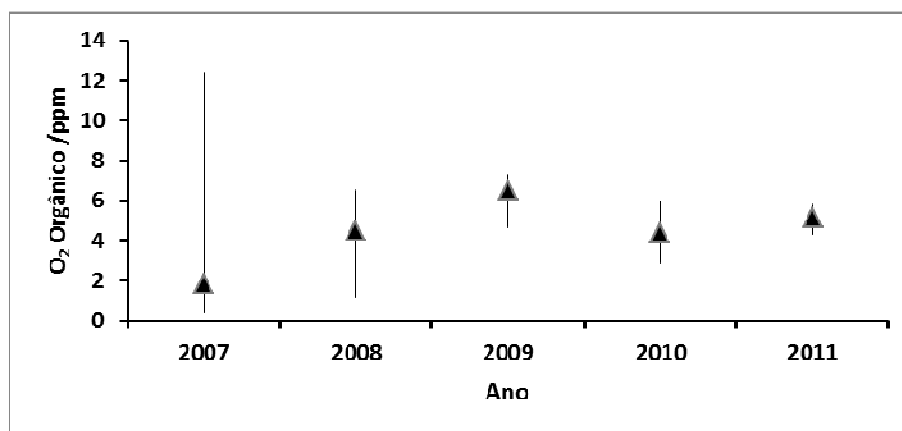
**Tabela A1.2** – Medianas, valores máximo e mínimo de pH nos anos de 2007 à 2011.

Ano	pH				
	Maior	Menor	Mediana	padrão menor	padrão maior
2007	7,82	5,25	6,81	6	9,5
2008	7,40	5,56	6,32	6	9,5
2009	7,30	5,56	5,91	6	9,5
2010	6,01	4,93	5,19	6	9,5
2011	5,81	4,63	5,11	6	9,5

**Figura A1.2.** Gráfico das medianas de pH medidas no Plano Piloto de 2007 à 2011.

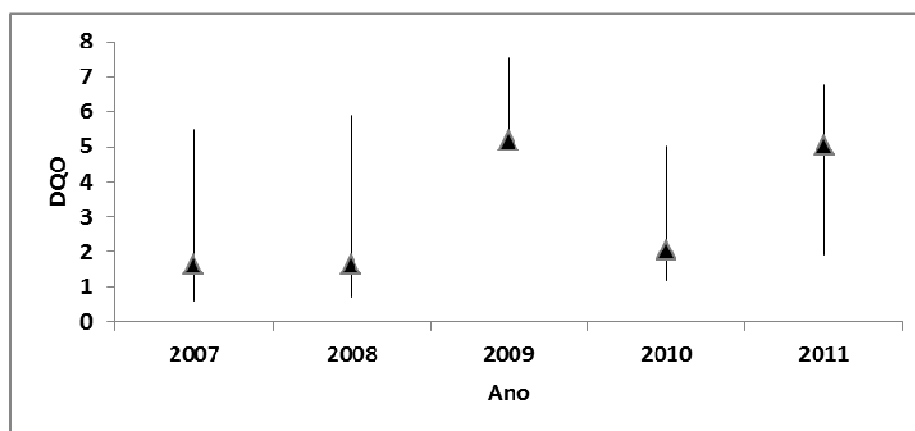
**Tabela A1.3** – Medianas, valores máximo e mínimo de O<sub>2</sub> Orgânico nos anos de 2007 à 2011.

O <sub>2</sub> Orgânico			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	12,43	0,39	1,82
2008	6,51	1,16	4,47
2009	7,30	4,69	6,52
2010	6,01	2,84	4,37
2011	5,81	4,29	5,12

**Figura A1.3.** Gráfico das medianas de O<sub>2</sub> Orgânico medidas no Plano Piloto de 2007 à 2011.

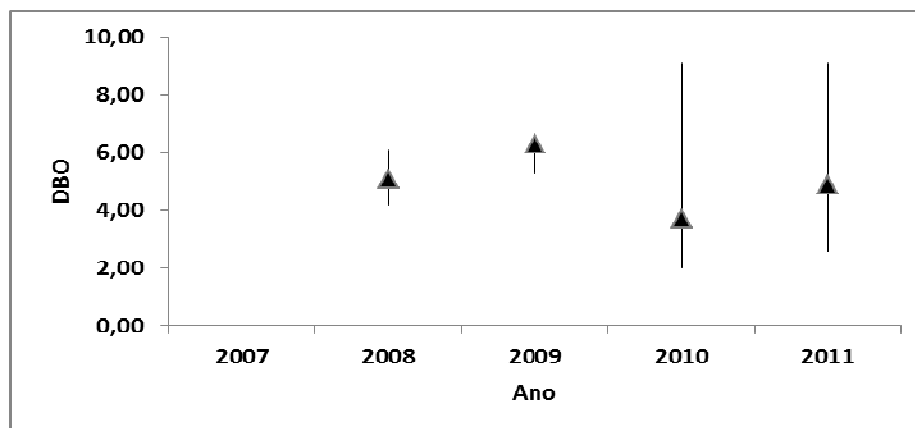
**Tabela A1.4 –** Medianas, valores máximo e mínimo de DQO nos anos de 2007 à 2011.

DQO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	5,49	0,59	1,61
2008	5,90	0,70	1,61
2009	7,55	5,01	5,17
2010	5,02	1,16	2,02
2011	6,78	1,88	5,02

**Figura A1.4.** Gráfico das medianas de DQO medidas no Plano Piloto de 2007 à 2011.

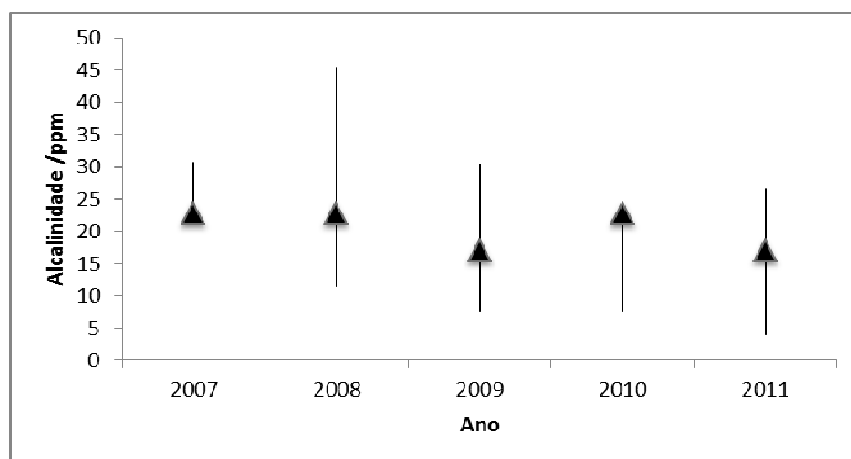
**Tabela A1.5** – Medianas, valores máximo e mínimo de DQO nos anos de 2007 à 2011.

DBO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007			
2008	6,10	4,17	5,08
2009	6,52	5,26	6,29
2009	9,11	2,02	3,69
2011	9,11	2,54	4,86

**Figura A1.5.** Gráfico das medianas de DBO medidas no Plano Piloto de 2007 à 2011.

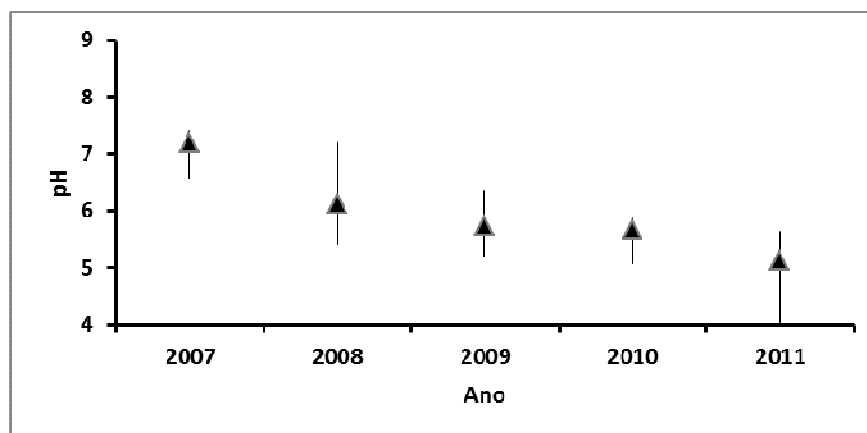
**GRÁFICOS E RESULTADOS BRAZLÂNDIA****Tabela A1.6** – Medianas, máximo e mínimo, valores de Alcalinidade nos anos de 2007 à 2011.

<b>Alcalinidade /ppm</b>			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	30,76	22,76	22,78
2008	45,53	11,38	22,76
2009	30,35	7,59	17,08
2010	22,76	7,59	22,76
2011	26,56	4,03	17,08

**Figura A1.6.** Gráfico das medianas de alcalinidades medidas em Brazlândia de 2007 à 2011.

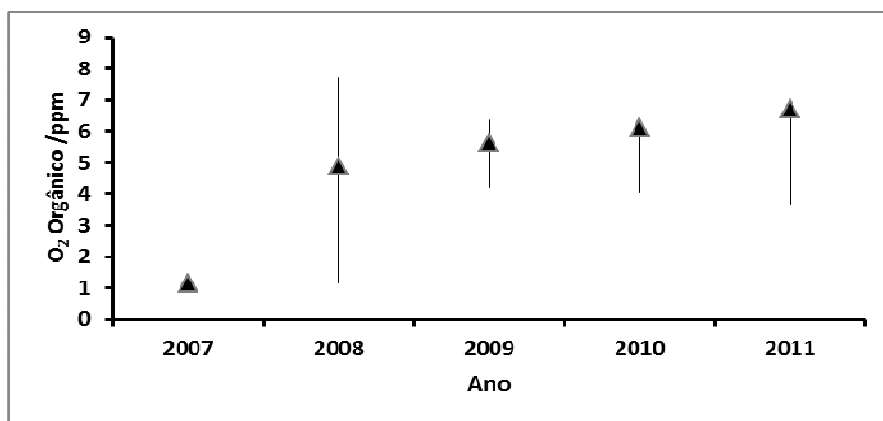
**Tabela A1.7** – Medianas, valores máximo e mínimo de DQO nos anos de 2007 à 2011.

Ano	pH				
	Maior	Menor	Mediana	padrão menor	padrão maior
2007	7,40	6,56	7,20	6	9,5
2008	7,20	5,41	6,13	6	9,5
2009	6,35	5,19	5,74	6	9,5
2010	5,87	5,07	5,66	6	9,5
2011	5,63	4,03	5,14	6	9,5

**Figura A1.7.** Gráfico das medianas de pH medidas no Brazlândia de 2007 à 2011.

**Tabela A1.8** – Medianas, valores máximo e mínimo de O<sub>2</sub> Orgânico nos anos de 2007 à 2011.

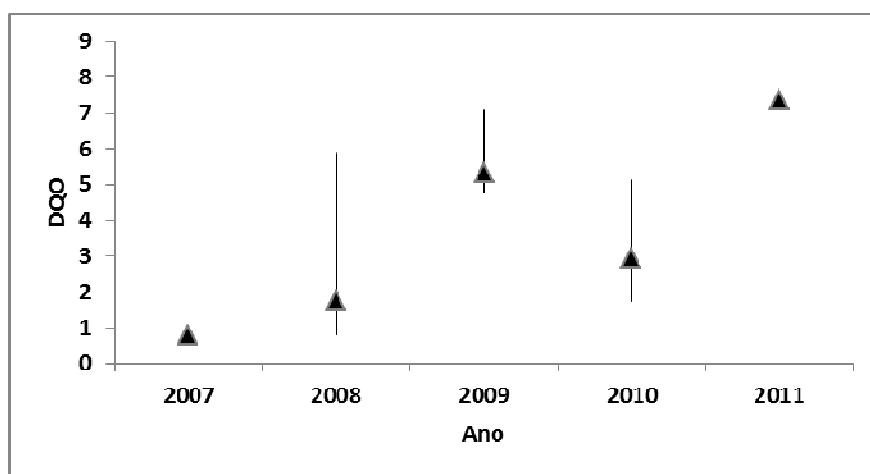
O <sub>2</sub> Orgânico			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	1,41	1,16	1,16
2008	7,73	1,16	4,88
2009	6,35	4,19	5,61
2010	5,87	4,06	6,10
2011	5,63	3,65	6,71



**Figura A1.8.** Gráfico das medianas de O<sub>2</sub> Orgânico, medidas em Brazlândia de 2007 à 2011.

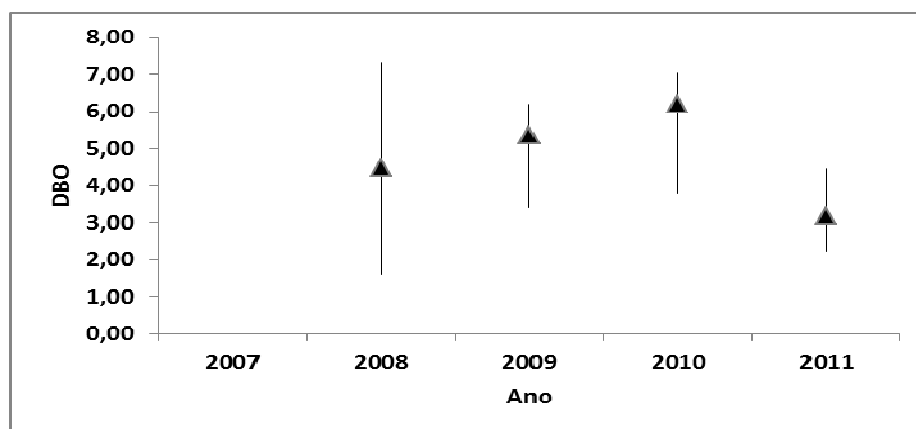
**Tabela A1.9** – Medianas, máximo e mínimo, de DQO, medidos nos anos de 2007 à 2011.

DQO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	0,80	0,70	0,80
2008	5,90	0,80	1,78
2009	7,11	4,77	5,34
2010	5,13	1,74	2,95
2011	8,04	4,17	7,36

**Figura A1.9.** Gráfico das medianas de DQO, medidas em Brazlândia de 2007 à 2011.

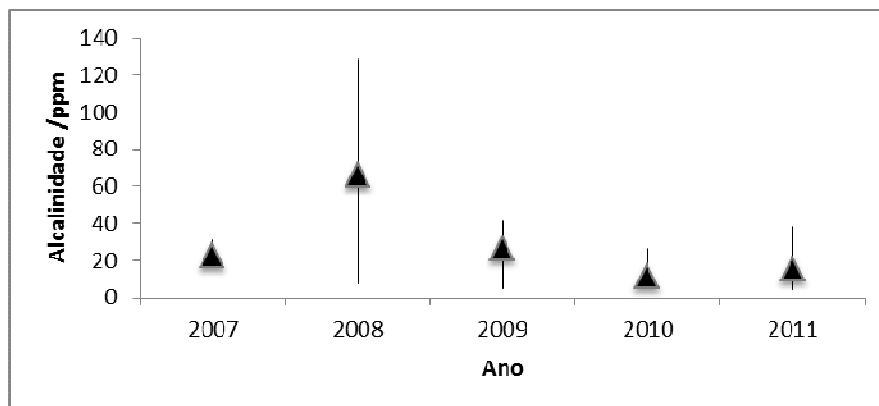
**Tabela A1.10** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DBO nos anos de 2007 à 2011.

DBO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007			
2008	7,33	1,61	4,47
2009	6,18	3,40	5,36
2009	7,02	3,79	6,21
2011	4,45	2,23	3,19

**Figura A1.10.** Gráfico das medianas de DBO, medidas em Brazlândia de 2007 à 2011.

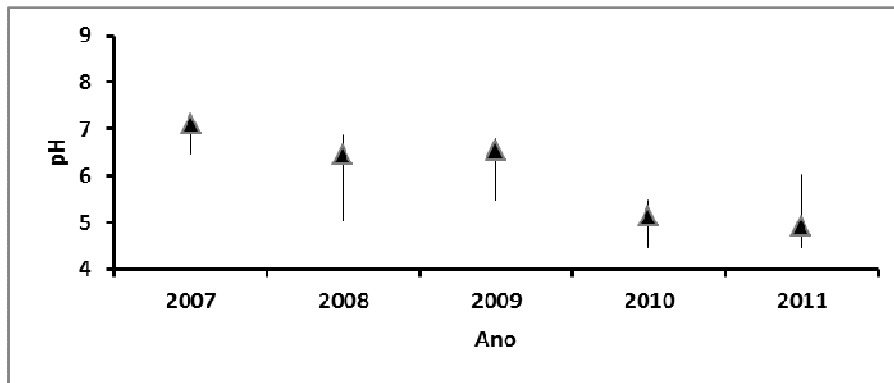
**GRÁFICOS E RESULTADOS GAMA****Tabela A1.11** – Medianas, máximo e mínimo, valores de Alcalinidade nos anos de 2007 à 2011.

Ano	Alcalinidade /ppm		
	Maior	Menor	Mediana
2007	30,76	20,78	22,80
2008	129,00	7,59	66,40
2009	41,73	5,18	26,56
2009	26,56	7,59	11,38
2011	37,94	4,46	15,18

**Figura A1.11.** Gráfico das medianas de Alcalinidade, medidas em Gama de 2007 à 2011.

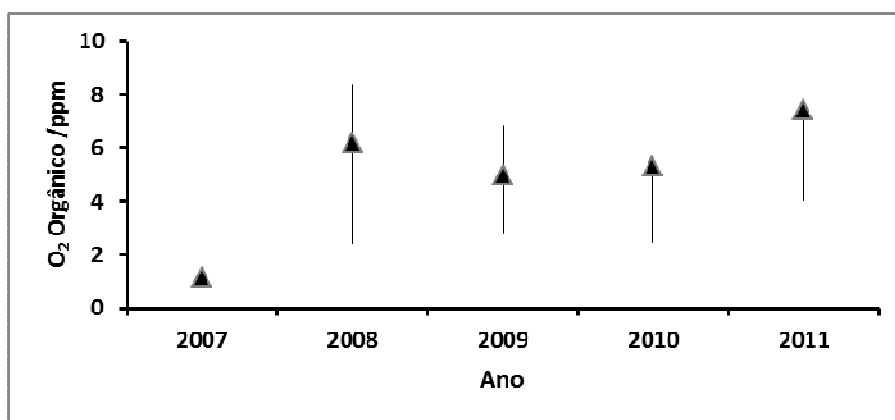
**Tabela A1.12** – Medianas, máximo e mínimo, valores de pH nos anos de 2007 à 2011.

Ano	pH				
	Maior	Menor	Mediana	padrão menor	padrão maior
2007	7,20	6,47	7,10	6	9,5
2008	6,88	5,01	6,43	6	9,5
2009	6,81	5,46	6,53	6	9,5
2010	5,48	4,46	5,12	6	9,5
2011	6,03	4,46	4,93	6	9,5

**Figura A1.12.** Gráfico das medianas de pH, medidas no Gama de 2007 à 2011

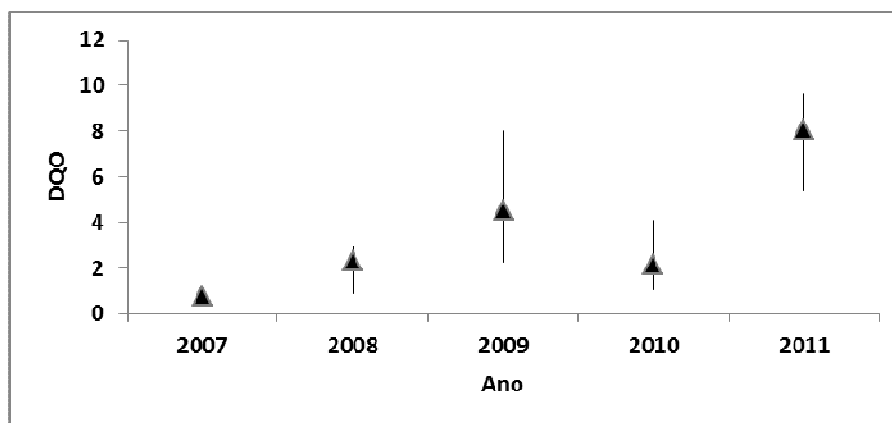
**GRÁFICOS E RESULTADOS GAMA****Tabela A1.13** – Medianas, máximo e mínimo, valores de O<sub>2</sub> Orgânico nos anos de 2007 à 2011.

<b>O<sub>2</sub> Orgânico</b>			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	1,16	1,00	1,16
2008	8,35	2,43	6,19
2009	6,81	2,84	4,99
2010	5,48	2,47	5,29
2011	6,03	4,06	7,41

**Figura A1.13.** Gráfico das medianas de O<sub>2</sub> Orgânico, medidas no Gama de 2007 à 2011.

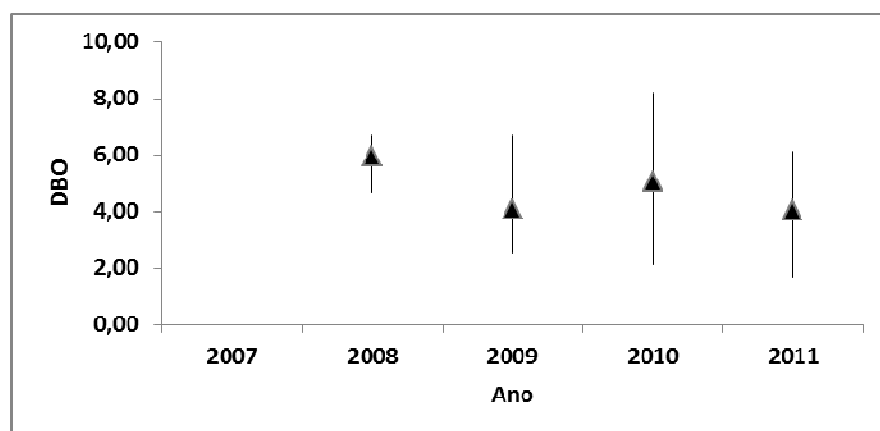
**Tabela A1.14** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DQO nos anos de 2007 à 2011.

DQO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	0,80	0,50	0,80
2008	2,92	0,87	2,33
2009	8,02	2,23	4,56
2010	4,12	1,06	2,13
2011	9,63	5,36	8,09

**Figura A1.14.** Gráfico das medianas de DQO, medidas no Gama de 2007 à 2011.

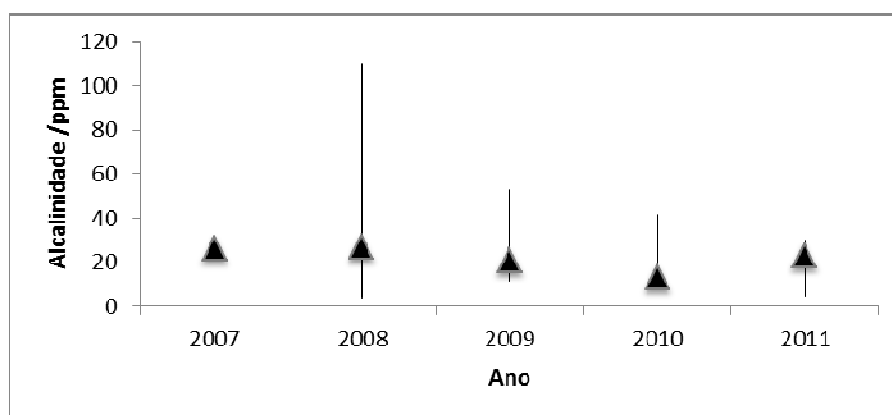
**Tabela A1.15** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DBO nos anos de 2007 à 2011.

DBO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007			
2008	6,71	4,67	5,96
2009	6,69	2,53	4,06
20010	8,20	2,11	5,03
2011	6,13	1,69	4,03

**Figura A1.15.** Gráfico das medianas de DBO, medidas no Gama de 2007 à 2011.

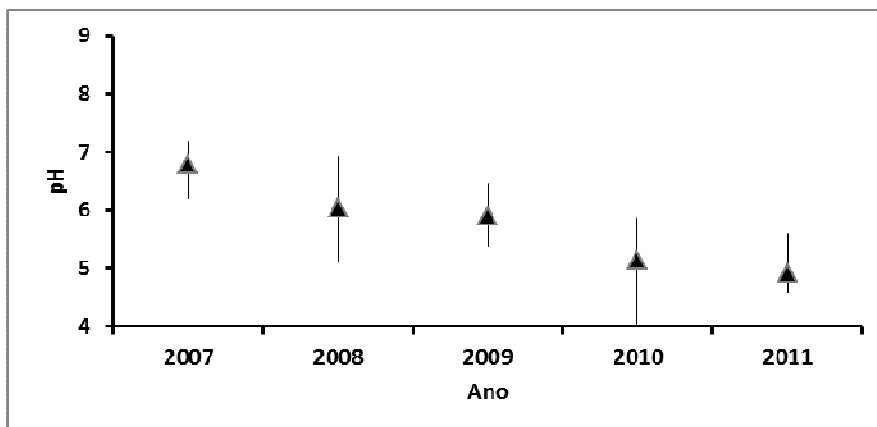
**GRÁFICOS E RESULTADOS SOBRADINHO****Tabela A1.16** – Medianas, máximo e mínimo, valores de Alcalinidade nos anos de 2007 à 2011.

<b>Alcalinidade /ppm</b>			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	30,76	22,80	26,56
2008	110,03	3,79	26,60
2009	53,12	11,38	20,87
2010	41,73	7,59	13,28
2011	30,35	4,59	22,76

**Figura A1.16.** Gráfico das medianas de Alcalinidade, medidas no Sobradinho de 2007 à 2011.

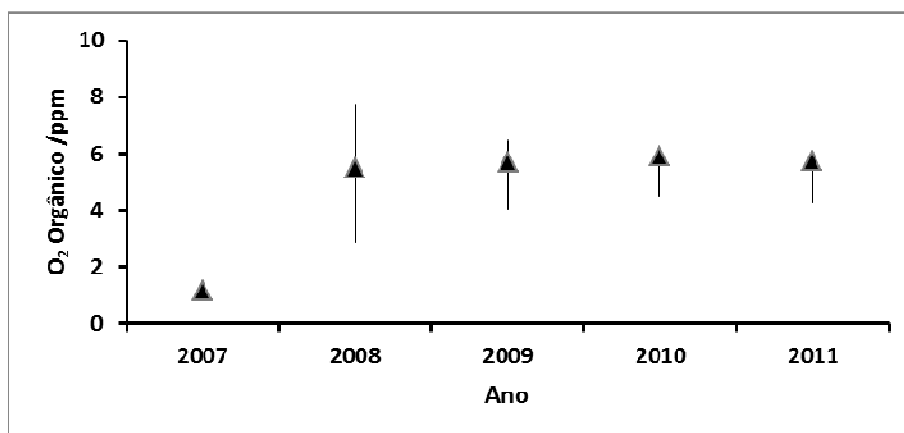
**Tabela A1.17 – Medianas, máximo e mínimo, valores de pH nos anos de 2007 à 2011.**

Ano	pH				
	Maior	Menor	Mediana	padrão menor	padrão maior
2007	7,20	6,19	6,79	6	9,5
2008	6,93	5,11	6,04	6	9,5
2009	6,46	5,37	5,90	6	9,5
2010	5,85	4,03	5,15	6	9,5
2011	5,60	4,59	4,91	6	9,5

**Figura A1.17.** Gráfico das medianas de pH, medidas no Sobradinho de 2007 à 2011.

**Tabela A1.18** – Medianas, máximo e mínimo, valores de O<sub>2</sub> Orgânico, nos anos de 2007 à 2011.

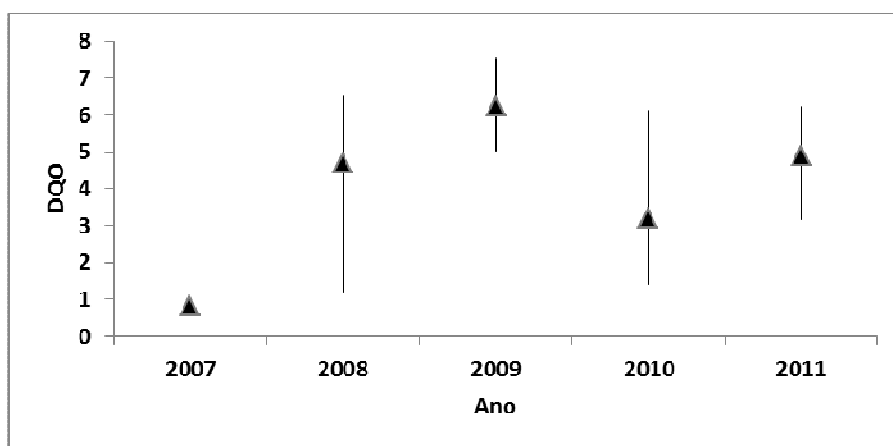
O <sub>2</sub> Orgânico			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	1,20	1,16	1,16
2008	7,73	2,84	5,49
2009	6,46	4,06	5,69
2010	5,85	4,47	5,89
2011	5,60	4,26	5,74



**Figura A1.18.** Gráfico das medianas de O<sub>2</sub> Orgânico, medidas no Sobradinho de 2007 à 2011.

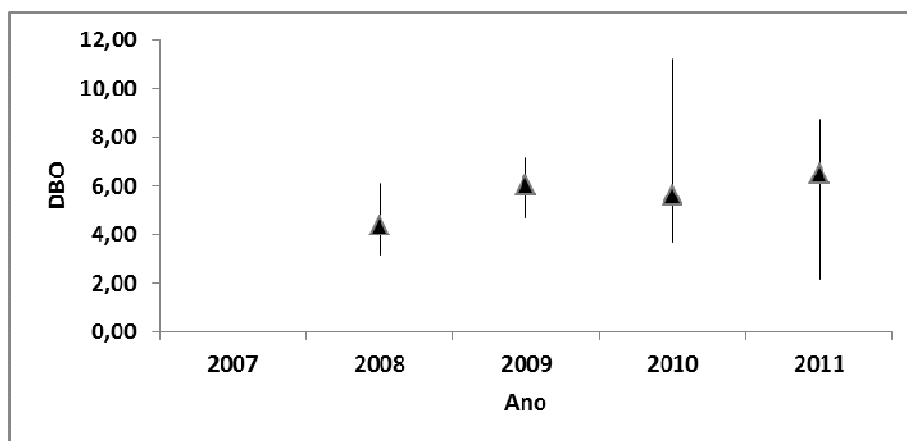
**Tabela A1.19** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DQO, nos anos de 2007 à 2011.

DQO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	0,80	0,60	0,80
2008	6,51	1,20	4,69
2009	7,52	5,03	6,22
20010	6,13	1,41	3,19
2011	6,24	3,16	4,88

**Figura A1.19.** Gráfico das medianas de DQO, medidas no Sobradinho de 2007 à 2011.

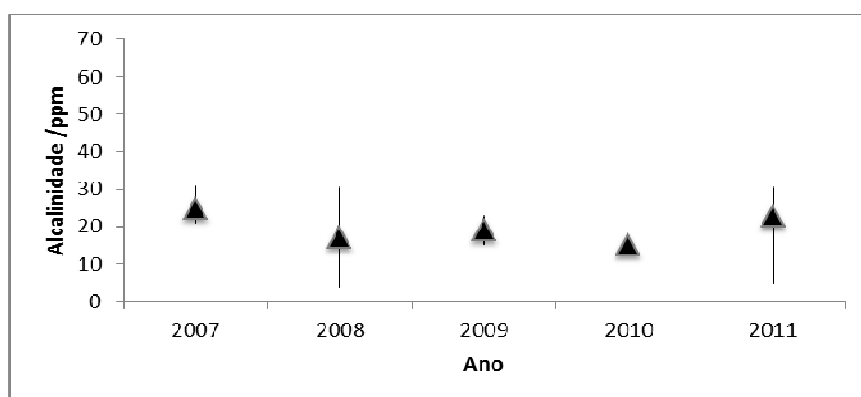
**Tabela A1.20** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DBO, nos anos de 2007 à 2011.

DBO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007			
2008	6,10	3,13	4,38
2009	7,15	4,68	6,04
2010	11,20	3,67	5,59
2011	8,74	2,14	6,48

**Figura A1.20.** Gráfico das medianas de DBO, medidas no Sobradinho de 2007 à 2011.

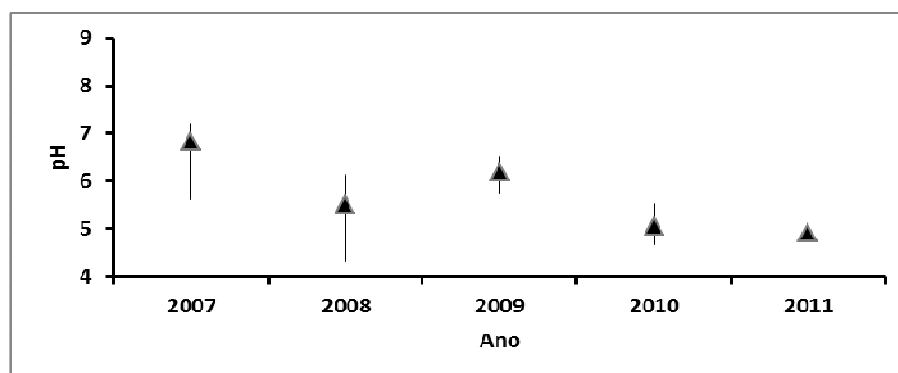
**GRÁFICOS E RESULTADOS DE PLANALTINA****Tabela A1.21** – Medianas, máximo e mínimo, valores de Alcalinidade, nos anos de 2007 à 2011.

<b>Alcalinidade /ppm</b>			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	30,76	20,78	24,68
2008	30,35	3,79	17,08
2009	22,76	15,18	18,97
2010	60,70	7,59	15,18
2011	30,35	4,59	22,76

**Figura A1.21.** Gráfico das medianas de Alcalinidade, medidas em Planaltina de 2007 à 2011.

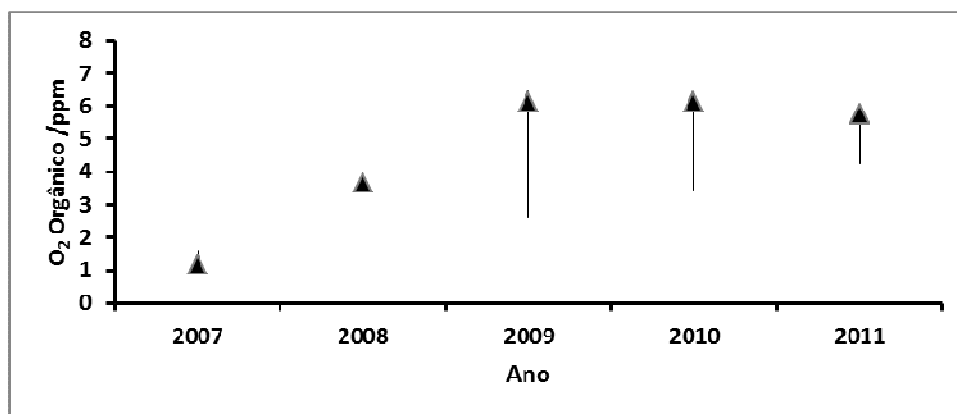
**Tabela A1.22** – Medianas, máximo e mínimo, valores de pH, nos anos de 2007 à 2011.

Ano	pH				
	Maior	Menor	Mediana	padrão menor	padrão maior
2007	7,20	5,63	6,83	6	9,5
2008	6,13	4,32	5,52	6	9,5
2009	6,50	5,74	6,19	6	9,5
2010	5,52	4,66	5,06	6	9,5
2011	5,60	4,59	4,91	6	9,5

**Figura A1.22.** Gráfico das medianas de pH, medidas em Planaltina de 2007 à 2011.

**Tabela A1.23** – Medianas, máximo e mínimo, valores de O<sub>2</sub> Orgânico, nos anos de 2007 à 2011.

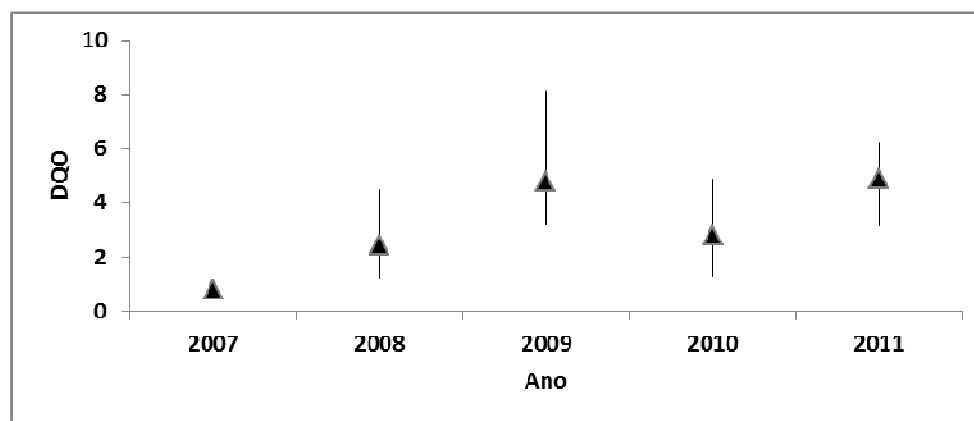
O <sub>2</sub> Orgânico			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	1,62	1,16	1,16
2008	7,33	2,22	3,68
2009	6,50	2,61	6,11
2010	5,52	3,45	6,10
2011	5,60	4,26	5,74



**Figura A1.23.** Gráfico das medianas de medidas de O<sub>2</sub> Orgânico em Planaltina de 2007 à 2011.

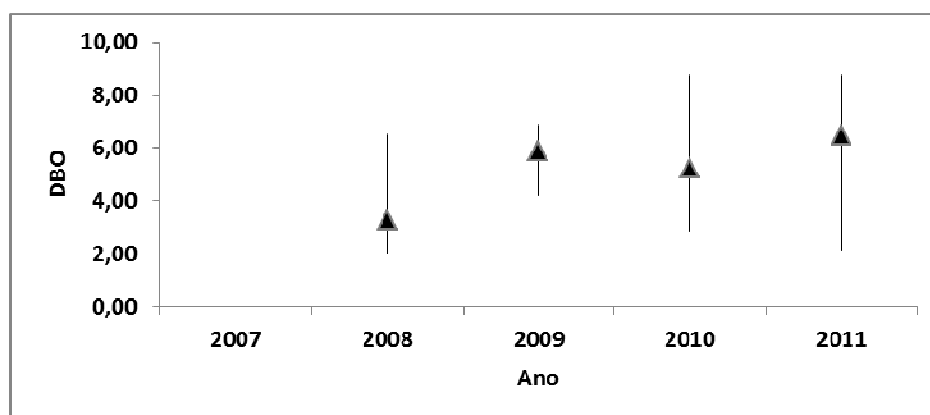
**Tabela A1.24** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DQO, nos anos de 2007 à 2011.

DQO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	0,80	0,80	0,80
2008	4,47	1,25	2,42
2009	8,12	3,18	4,79
2010	4,88	1,30	2,78
2011	6,24	3,16	4,88

**Figura A1.24.** Gráfico das medianas de medidas de DQO em Planaltina de 2007 à 2011.

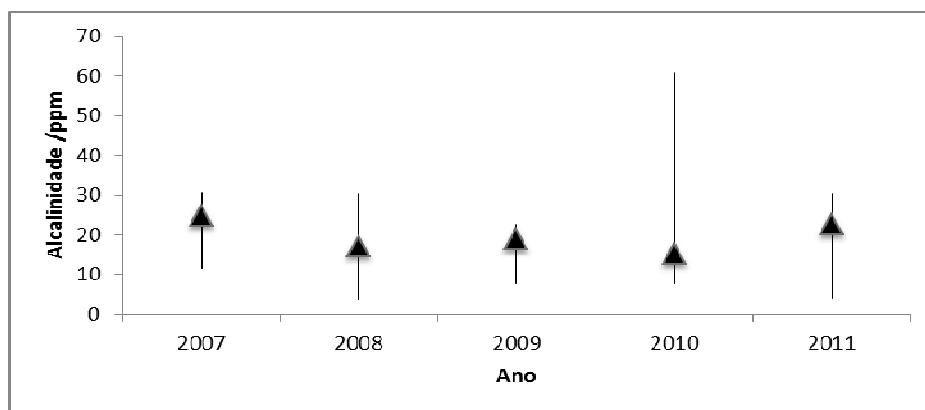
**Tabela A1.25** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DQO, nos anos de 2007 à 2011.

DBO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007			
2008	6,51	2,02	3,30
2009	6,88	4,21	5,90
20010	8,74	2,89	5,23
2011	8,74	2,14	6,48

**Figura A1.25.** Gráfico das medianas de medidas de DBO em Planaltina de 2007 à 2011.

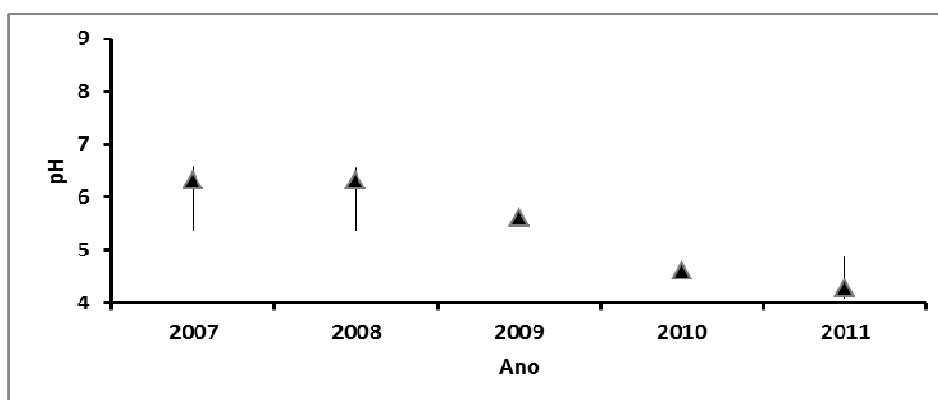
**GRÁFICOS E RESULTADOS DE VALPARAISO****Tabela A1.26** – Medianas, máximo e mínimo, valores de Alcalinidade, nos anos de 2007 à 2011.

Ano	Alcalinidade /ppm		
	Maior	Menor	Mediana
2007	22,76	11,38	18,97
2008	15,18	7,59	7,59
2009	18,97	7,59	15,18
2010	18,97	11,38	11,38
2011	7,59	4,10	7,59

**Figura A1.26.** Gráfico das medianas de medidas de Alcalinidade em Valparaíso de 2007 à 2011.

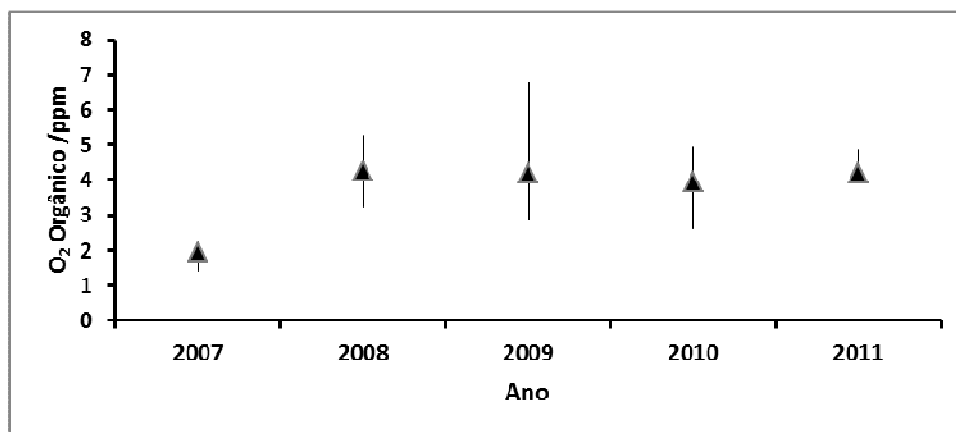
**Tabela A1.27** – Medianas, máximo e mínimo, valores de pH, nos anos de 2007 à 2011.

Ano	pH				
	Maior	Menor	Mediana	padrão menor	padrão maior
2007	6,59	5,37	6,32	6	9,5
2008	6,57	5,35	6,31	6	9,5
2009	6,79	4,93	5,62	6	9,5
2010	4,94	4,01	4,63	6	9,5
2011	4,87	4,10	4,30	6	9,5

**Figura A1.27.** Gráfico das medianas de medidas de pH em Valparaíso de 2007 à 2011.

**Tabela A1.28** – Medianas, máximo e mínimo, valores de O<sub>2</sub> Orgânico, nos anos de 2007 à 2011.

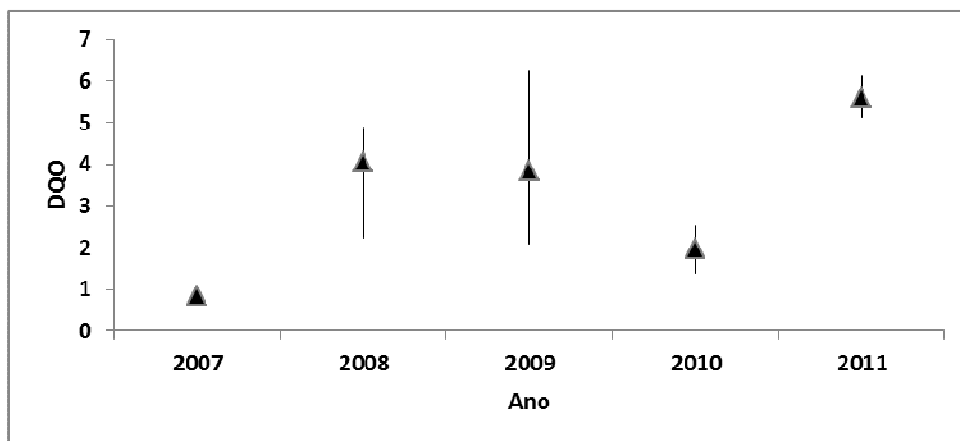
O <sub>2</sub> Orgânico			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	2,22	1,41	1,93
2008	5,29	3,24	4,27
2009	6,79	2,84	4,18
2010	4,94	2,60	3,96
2011	4,87	4,13	4,19



**Figura A1.28.** Gráfico das medianas de medidas de O<sub>2</sub> Orgânico, em Valparaíso de 2007 à 2011.

**Tabela A1.29** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DQO, nos anos de 2007 à 2011.

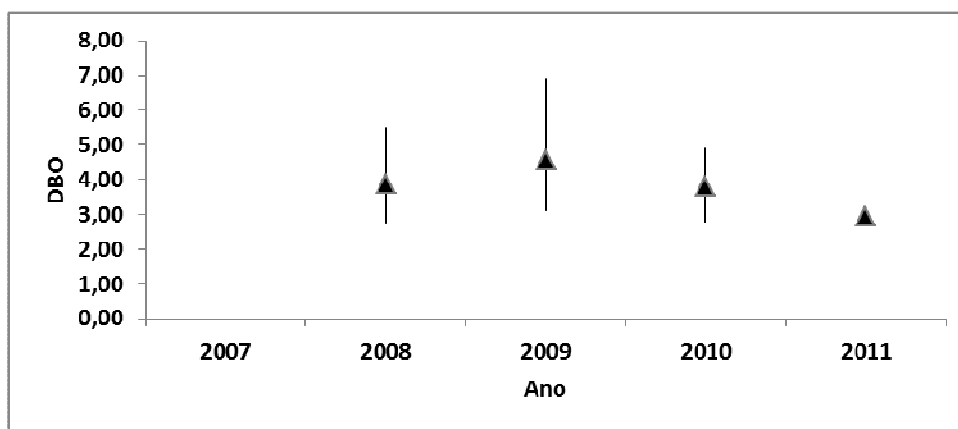
DQO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007	1,00	0,70	0,85
2008	4,88	2,22	4,06
2009	6,24	2,10	3,86
2010	2,56	1,37	1,98
2011	6,13	5,11	5,60



**Figura A1.29.** Gráfico das medianas de medidas de DQO, em Valparaíso de 2007 à 2011.

**Tabela A1.30** – Medianas, máximo e mínimo, valores de DBO, nos anos de 2007 à 2011

DBO			
Ano	Maior	Menor	Mediana
2007			
2008	5,49	2,74	3,88
2009	6,90	3,12	4,56
2010	4,90	2,75	3,79
2011	3,02	2,79	2,94



**Figura A1.30.** Gráfico das medianas de medidas de DQO, em Valparaíso de 2007 à 2011.

**APÊNDICE 2**  
**MATERIAL E MÉTODOS**

**Tabela A2.1** – Métodos analíticos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros físicos químicos e microbiológicos.

<b>Parâmetros</b>	<b>Método</b>	<b>Equipamentos</b>
Alcalinidade	IAL <sup>5</sup>	Bureta, balança analítica e reagente.
pH	IAL – 201/IV	Micronal B 474 pH metro
Dureza	IAL – 185/IV	Bureta, balança analítica e reagente.
Oxigênio	-	Instrutherm MO 880
Condutividade	IAL -187/1 V	Condutivímetro DM 3
Turbidez	IAL -206A/I	Turbidímetro AP 2000
TDS <sup>6</sup>	IAL -204/IV	Condutivímetro DM 3
DQO	IAL -199/IV	Bureta, balança analítica e reagente.
Nitrogenio amoniacal	IAL -189/IV	Klett Summerson
Cromo	IAL -209/IV	ICP – Varian
Ferro	IAL -192/IV	Klett Summerson
Chumbo	IAL -209/IV	ICP – Varian
Mesófilos	Manual de Microbiologia de Alimentos	Bureta, balança analítica e reagente.
Coliformes termotolerantes 45°C	Manual de Microbiologia de Alimentos	Bureta, balança analítica, reagentes.
Coliformes totais	Manual de Microbiologia de Alimentos	Bureta, balança analítica e reagente.
Clostridium	Manual de Microbiologia de Alimentos	Bureta, balança analítica e reagente.
E. Coli	Manual de Microbiologia de Alimentos	Bureta, balança analítica e reagentes

<sup>5</sup> (Instituto Adolfo Lutz).

<sup>6</sup> TDS - Sólidos Dissolvidos Totais.

## A2. MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS QUÍMICOS

### A2.1. 185/IV DETERMINAÇÃO DE DUREZA

A dureza total é definida como a soma das concentrações de cálcio e magnésio, ambas expressas como carbonato de cálcio, em miligramas por litro. O ácido etilenodiaminotetra-cético e seus sais sódicos (EDTA) formam complexos quelados solúveis com certos cátions metálicos. Uma solução contendo íons de cálcio e magnésio, com uma pequena quantidade do indicador negro de eriocromo T, em pH (10,0±0,1) torna-se púrpura. Titulando-se essa solução com EDTA, cálcio e magnésio serão quelados e uma viragem de cor púrpura a azul indicará o ponto final.

#### Material

Pipeta de 50 mL (ou balão volumétrico), pipeta de 2 mL, frasco Erlenmeyer de (250 e 500) mL, buretas de (10 e 25) mL e balões volumétricos de 250 e 1000 mL.

#### Reagentes

Solução-padrão de cálcio - Transfira, para um frasco Erlenmeyer de 500 mL, 1 g de carbonato de cálcio previamente aquecido a 105°C por 15 horas. Adicione, por meio de um funil, ácido clorídrico diluído a 50%, aos poucos, até dissolver todo o carbonato. Adicione 200 mL de água. Aqueça até ebulição para eliminar todo gás carbônico. Esfrie. Transfira a solução para um balão volumétrico de 1000 mL e complete o volume com água. Um mL desta solução equivale a 1 mg de carbonato de cálcio.

Solução-tampão — Dissolva 16,9 g de cloreto de amônio em 143 mL de hidróxido de amônio e dilua para 250 mL com água bidestilada e deionizada.

Solução indicadora - Misture, em almofariz, 0,5 g de negro de eriocromo T - sal sódico do ácido 1-(1-hidroxi-2-naftilazo)-5-nitro-2-naftol-4-sulfônico) - com 100 g de cloreto de sódio. Conserve em frasco com rolha esmerilhada.

Solução de EDTA 0,01 M - Dissolva 3,7224 g do sal dissódico do ácido etilenodiaminotetra-cético dihidratado em água bidestilada e deionizada e complete a 1000 mL.

Padronização — Transfira 50 mL de água bidestilada e deionizada para um frasco Erlenmeyer de 250 mL. Adicione 2 mL da solução-tampão e 0,05 g do indicador negro de eriocromo T. Adicione 20 mL da solução-padrão de cálcio. Titule com a solução de EDTA até viragem da cor púrpura para azul. Calcule a massa de  $\text{CaCO}_3$  equivalente a 1 mL da solução de EDTA.

**Procedimento** — Transfira 50 mL da amostra para um frasco Erlenmeyer de 250 mL. Adicione 1 mL da solução-tampão e pequena porção (0,05 g) do indicador negro de eriocromo T. Titule com a solução de EDTA 0,01 M até que a coloração púrpura passe a azul.

### **A2.2. 186/IV DETERMINAÇÃO DE DUREZA DE CARBONATOS E DE NÃO-CARBONATOS**

Quando a dureza é numericamente maior que a soma da alcalinidade de carbonato e de bicarbonato, a quantidade de dureza equivalente à alcalinidade total é denominada "dureza de carbonatos"; a quantidade de dureza em excesso à anterior é denominada "dureza de não-carbonatos".

$D < A$  - Dureza de carbonatos =  $D - A$   
 $D > A$  - Dureza de carbonatos =  $A$

$A$  = alcalinidade de carbonatos + alcalinidade de bicarbonatos  
 $D$  = dureza total

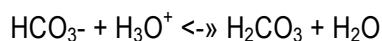
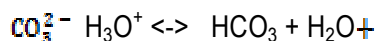
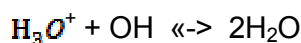
Calcule

a dureza de não-carbonatos subtraindo a dureza de carbonato da dureza total.

### **A2.3. 187/IV DETERMINAÇÃO DA ALCALINIDADE TOTAL POR MÉTODO VOLUMÉTRICO COM INDICADOR VISUAL**

A alcalinidade total de uma solução é, geralmente, devida aos íons hidroxila, carbonato e bicarbonato dissolvidos na água e a soma das concentrações desses íons é expressa em carbonato de cálcio. O conteúdo de cloro residual não deve ser superior a 1,8 mg/L, pois pode destruir o indicador colorimétrico; esse excesso de cloro pode ser eliminado pela adição de solução de tiosulfato de sódio (1 litro de água com concentração de cloro de 1,8 mg/L necessita de 1 mL de solução de tiosulfato de sódio contendo 3,2 g/L). A alcalinidade total é determinada por titulação da amostra de água com solução padronizada de ácido, com pontos finais estabelecidos em pH 4,5 e 8,3. As medidas podem ser realizadas por

volumetria, com emprego de indicadores ácido-base. As reações que se processam são:



### Material

Pipeta volumétrica de 50 mL, balões volumétricos de 100 e 1000 mL, pipetas, frascos Erlenmeyer de 250 mL, bureta de 25 mL, pesa-filtro, balança analítica e frasco conta-gotas.

### Reagentes

Solução-padrão de carbonato de sódio 0,025 M

Solução-padrão de ácido sulfúrico 0,05 M ou clorídrico 0,1 M - Dilua em um balão volumétrico de 1000 mL, 3 mL de ácido sulfúrico ou 8,3 mL de ácido clorídrico e complete o volume com água. Coloque a solução ácida na bureta e padronize, por titulação, com 40 mL de solução de carbonato de sódio 0,025 M.

Padronização da solução de ácido sulfúrico 0,05 M ou ácido clorídrico 0,1 M, utilizando indicador visual - Em um frasco Erlenmeyer de 250 mL, adicione 40 mL de solução-padrão de carbonato de sódio e 60 mL de água bidestilada e deionizada. Coloque na bureta o ácido a ser padronizado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 M ou  $\text{HCl}$  0,1 M). Adicione duas gotas de indicador fenolftaleína e acrescente lentamente o ácido até viragem de cor rósea a incolor (formação de  $\text{HCO}_3^-$ ). A seguir, adicione 2 gotas de indicador verde de bromocresol ou da mistura de verde de bromocresol e vermelho de metila. Continue a titulação até viragem de cor azul para verde (ou verde para amarela, no caso de mistura de indicadores).

*Nota:* 1 mL da solução ácida = 5 mg de  $\text{CaCO}_3$

Indicador verde de bromocresol - Pese 100 mg do indicador verde de bromocresol (sal sódico), transfira para um balão volumétrico de 100 mL e complete o volume com água bidestilada e deionizada.

Indicador verde de bromocresol-vermelho de metila — Dissolva 100 mg de verde de bromocresol (sal sódico) e 20 mg de vermelho de metila (sal sódico)

em 100 mL de água, ou alternativamente, em 100 mL de álcool a 95% ou álcool isopropílico.

Solução de fenolftaleína — Pese 1 g de fenolftaleína, transfira para um balão volumétrico de 100 mL, dissolva com álcool a 95% e complete o volume.

Solução de tiosulfato de sódio - Pese 3,2 g de tiosulfato de sódio, transfira para um balão volumétrico de 1000 mL, dissolva com água bidestilada e deionizada e complete o volume .

Solução de ácido sulfúrico 0,005 M ou de ácido clorídrico 0,01 M - Transfira 100 mL da solução de ácido sulfúrico 0,05 M ou 100 mL da solução de ácido clorídrico 0,1 M para um balão de 1000 mL. Complete o volume com água bidestilada e deionizada.

### Procedimento

Transfira 50 mL da amostra para um frasco Erlenmeyer de 250 mL. Adicionando 2 gotas da solução indicadora de fenolftaleína. Se aparecer cor, hidróxidos ou carbonatos estão presentes, e então titule esta solução, sob agitação constante, com solução padronizada 0,005 M de ácido sulfúrico ou 0,01 M de ácido clorídrico até o desaparecimento da cor rósea. Anote o volume gasto na bureta (alcalinidade referente a íons hidroxila livres). Adicione 2 gotas do indicador verde de bromocresol (ou da mistura dos indicadores verde de bromo-cresol e vermelho de metila) à solução incolor acima obtida. Titule com solução de ácido sulfúrico 0,005 M (ou ácido clorídrico 0,01 M), até a mudança da cor azul para verde (ou de verde para amarelada, no caso da mistura dos indicadores). Leia na bureta o volume total de ácido gasto (alcalinidade total).

### Cálculo

$$\frac{v \times M \times 50}{V_a} = \text{mg de carbonato de cálcio por litro (usando HCl 0,01 M)}$$

$$v \times M \times 100 / V_a$$

$$v = n^\circ \text{ de mL} = \text{mg de carbonato de cálcio por litro (usando H}_2\text{SO}_4 \text{ 0.005M)}$$

do ácido sulfúrico (ou clorídrico)

M= molaridade da solução de ácido da amostra

Va= volume da amostra de água

*Nota:* a alcalinidade referente a íons hidroxila livres (F) e total (AT) pode ser usada para se calcular a alcalinidade em termos de hidróxido, carbonato e bicarbonato. A realização deste cálculo é feita utilizando a Tabela I.

**Tabela A2.2** - Cálculo de alcalinidade da água

Resultado da titulação	Alcalinidade (em mg/L como CaCO <sub>3</sub> )		
	Hidróxidos	Carbonatos	Bicarbonatos
F = 0	0	0	AT
F < 1/2 AT	0	2F	AT - 2 F
F = 1/2	0	2F	0
F > 1/2 AT	2F - AT	2 (AT - F)	0
F=AT	AT	0	0

F = alcalinidade fenolftaleína, AT = alcalinidade total

#### **A2.4. 192/IV DETERMINAÇÃO DE FERRO**

Os compostos de ferro, muito abundantes na natureza, são integrantes da composição química do solo, das rochas e da matéria vegetal. Em condições redutoras, o ferro existe no estado ferroso. Em águas expostas ao ar ou em condições oxidantes, os íons ferrosos são oxidados ao estado férrico, o qual se hidrolisa formando hidróxido de ferro III insolúvel. O ferro ocorre em solução aquosa, em estado coloidal que pode ser peptizado por matéria orgânica, em complexos inorgânicos ou orgânicos ou em partículas em suspensão.

#### **Material**

Espectrofotômetro UV/VIS, chapa elétrica, pHmetro, balança analítica, béqueres de 100, 250, 500, 1000 e 2000 mL, balões volumétricos de 50, 100 e 1000 mL, barra magnética, buretas de 10 mL e 25 mL, frascos Erlenmeyer de 125 e 250 mL, funil de haste longa, lâ de vidro, pipetas volumétricas de 5,25 e 50 mL, pipetas graduadas de 5 mL, proveta de 100 mL e vidro de relógio.

*Nota:* recomenda-se não usar espátula metálica

Reagentes

Acetato de sódio

Ácido acético glacial

Ácido clorídrico

Ácido fosfórico

Ácido sulfúrico

I, 10-Fenantrolina

Cloreto de hidroxilamina

Oxalato de sódio

Permanganato de potássio

Sulfato ferroso amoniacal

Zinco em pó

Ácido sulfúrico 0,4 M

Solução de permanganato de potássio 0,02 M

Ácido clorídrico a 50%

Ácido sulfúrico a 50% (para padronização do  $\text{KMnO}_4$ ).

Solução-padrão de ferro II - Pese 7 g de sulfato de amônio e ferro  $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , dissolva em 50 mL de água bidestilada e deionizada, transfira para um balão volumétrico de 1000 mL e adicione 5 mL de ácido sulfúrico. Complete o volume com água bidestilada e deionizada e homogeneíze. Esta solução contém cerca de 1 g de ferro. Pipete 25 mL da solução-estoque em frasco Erlenmeyer de 250 mL. Adicione 70 mL de água bidestilada e deionizada, 0,3 g de zinco em pó. Ferva lentamente, até dissolver todo o zinco, agitando o frasco Erlenmeyer, de tempos em tempos, com movimentos circulares. Se a solução ficar turva, adicione, lentamente, solução de ácido sulfúrico 1 M até a turvação desaparecer. Esfrie, cobrindo o frasco Erlenmeyer com vidro de relógio. Adicione 1 mL de ácido fosfórico e titule imediatamente com solução-padrão de permanganato de potássio 0,02 M até cor levemente rosada.

A solução original deve estar com concentração ao redor de 0,0178 M em íons de Fe.

Nota: quando disponível, poderá ser usada a solução-padrão 1000 mg/kg (em Fe) para espec-trometria de absorção atômica.

Reagente cloreto de hidroxilamina - Pese 10 g de cloreto de hidroxilamina  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ , transfira para um balão volumétrico de 100 mL e complete o volume com água bidestilada e deionizada.

Solução-tampão de acetato de sódio — Dissolva 250 g de acetato de sódio em 150 mL de água bidestilada e deionizada em béquer de 1000 mL. Mergulhe um eletrodo de vidro combinado previamente calibrado, conectado a pHmetro, uma barra magnética e, sob agitação, adicione lentamente 500 mL de ácido acético glacial. Após homogeneização, sob agitação constante, continue adicionando o ácido acético até o pH ficar entre 4,4 e 5,0. Complete o volume a 1000 mL com água bidestilada e deionizada. Transfira para frasco de vidro e guarde em geladeira, para se evitar a formação de fungos. Retire da geladeira, uma hora antes do uso, quantidades suficientes recolhidas em béqueres ou frascos pequenos de polietileno e mantidas à temperatura ambiente.

Solução-reagente - Pese 1 g de 1,10-fenantrolina monoidratada  $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ , transfira para um balão volumétrico de 1000 mL com 100 mL de água bidestilada e deionizada, adicione duas gotas de HCl, dissolva sob agitação e complete o volume com água bidestilada e deionizada.

Curva-padrão - Pipete 1 mL da solução-estoque com pipeta volumétrica em um balão volumétrico de 100 mL e complete o volume com água bidestilada e deionizada. Esta solução contém 10 mg de Fe ou o confirmado pela padronização. Seguindo o mesmo tratamento dado às amostras, abaixo descrito, prepare soluções-padrão de ferro contendo 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 mg/L de ferro, a partir da solução-estoque de 10 mg/L. Com bureta de 10 mL, adicione quantidades de 0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 mL em balão volumétrico de 50 mL. Complete o volume com água bidestilada e deionizada e transfira para um béquer de 250 mL. Adicione 4 mL de HCl a 50% (v/v) e um mL de solução de  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ . Ferva até que o volume se reduza a 15 ou 20 mL. Esfrie à temperatura ambiente. Adicione 10 mL do tampão de acetato de sódio, 2 mL de solução de 1,10-fenantrolina. Transfira para outro balão volumétrico de 50 mL,

lavando as paredes do béquer e complete o volume com água bidestilada e deionizada. Homogeneíze e deixe em repouso por 10 a 15 minutos, para o completo desenvolvimento da cor. Meça a absorbância em espectrofotômetro, utilizando comprimento de onda igual a 510 nm. Construa o gráfico de absorbância em função da concentração da solução-padrão de ferro (em mg Fe/L).

Procedimento - Agite bem a amostra e transfira 50 mL para um béquer de 250 mL. Adicione 1 mL de HCl 50% (v/v) e 1 mL de solução de cloreto de hidroxilamina 10% (m/v). Ferva até que o volume se reduza a 15 ou 20 mL. Esfrie à temperatura ambiente. Adicione 5 mL de tampão acetato e 2 mL de solução de fenantrolina. Transfira para um balão volumétrico de 50 mL, lavando as paredes do béquer e complete o volume com água bidestilada e deionizada. Homogeneíze e deixe em repouso por 10 a 15 minutos, para o completo desenvolvimento da cor. Acerte o "zero" do equipamento com a prova em branco. Meça a absorbância da amostra analisada.

Nota: quando o teor de ferro na amostra for superior a 1 mg/L, dilua, cuidadosamente, uma alíquota da amostra original até 50 mL e proceda de maneira análoga à descrita no procedimento. Jamais dilua a solução colorida final.

### **Cálculo**

Obtenha a concentração da amostra diretamente da curva-padrão.

## **A2.5. 199/IV DETERMINAÇÃO DO OXIGÊNIO CONSUMIDO EM MEIO ÁCIDO**

A determinação de oxigênio consumido indica a quantidade de substâncias oxidáveis presentes na água. No método analítico proposto, a amostra é oxidada com íons perman-ganato em meio ácido. Após a adição de excesso de íons oxalato, titula-se novamente com solução de permanganato.

### **Material**

Banho-maria, balança analítica, pipeta volumétrica de 100 mL, frasco Erlenmeyer de 300 mL, pipeta volumétrica de 5 mL, buretas de 10 e 25 mL, balão volumétrico de 1000 mL e béquer de 200 mL.

### Reagentes

Permanganato de potássio

Acido sulfurico

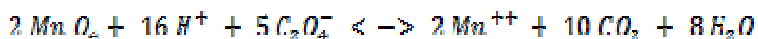
Oxalato de sódio

Solução de permanganato de potássio a 0,0025 M - Pese 4 g de permanganato de potássio e dilua com aproximadamente 1100 mL de água bidestilada e deionizada. Aqueça a solução até reduzir o volume a aproximadamente 1000 mL. Esfrie à temperatura ambiente. Filtre, a vácuo, em placa de porcelana porosa, previamente purificada com ácido sulfurico e exaustivamente lavada com água bidestilada e deionizada. Recolha o filtrado em balão volumétrico de 1000 mL, complete cuidadosamente o volume com água bidestilada e deionizada. Deixe a solução em repouso por uma semana, em frasco âmbar e dilua 100 mL desta solução com água bidestilada e deionizada, completando o volume até 1000 mL em balão volumétrico.

Padronização - Pese quantitativamente massas de oxalato de sódio, em torno de 0,1 g, secas em estufa a 100°C por duas horas. Transfira para um frasco Erlenmeyer de 250 mL. Adicione 200 mL de água bidestilada e deionizada e 5 mL de ácido sulfurico a 25% v/v. Leve ao banho-maria e aqueça entre (60—70)°C. Titule com a solução de permanganato de potássio até a primeira coloração rósea.

*Nota:* nas primeiras gotas há uma viragem aparente; retorne então ao banho-maria até a descoloração completa e prossiga normalmente a titulação. Faça ao menos duas provas e calcule a molaridade média.

### Cálculo



$2 \times m$  = molaridade da solução de  $\text{KMnO}_4$

$670 \times v$

m = massa de oxalato de sódio empregada, em gramas

v = volume da solução de  $\text{KMnO}_4$  gasto na titulação, em L

Solução aquosa de ácido sulfurico 25% v/v - Dilua 25 mL de ácido sulfurico concentrado em água bidestilada e deionizada, lentamente, deixando esfriar e completando o volume até 100 mL.

Solução de oxalato de sódio 0,00625 M - Pese 8,375 g de oxalato de sódio, transfira para um balão volumétrico de 1000 mL e complete o volume com água bidestilada e deionizada. Transfira 100 mL desta solução para balão volumétrico de 1000 mL e complete o volume com a mesma água.

Procedimento -Transfira 100 mL da amostra para um frasco Erlenmeyer de 300 mL. Adicione 5 mL de ácido sulfúrico a 25% v/v. Adicione, com uma bureta, 5 mL de permanganato de potássio 0,0025 M. Aqueça em banho-maria por 30 minutos. Havendo descoloração da solução, adicione mais 10 mL da solução de permanganato. Caso descore novamente, repita o teste com a amostra diluída a 100 mL. Adicione, com uma bureta, uma quantidade de oxalato de sódio 0,00625 M exatamente igual a do total da solução de permanganato de potássio empregada. Leve ao banho-maria até descorar. Titule com solução de permanganato de potássio até coloração rósea.

### **Cálculo**

O oxigênio consumido pela amostra (em mg/L) corresponde exatamente ao nº de mL de permanganato de potássio 0,0025 M gasto na titulação da amostra.

### **A2.6. 201/IV DETENNAÇÃO DO pH**

A uma dada temperatura, a acidez ou a alcalinidade de uma solução é indicada pelo valor do pH ou pela atividade do íon hidrogênio. O pH é definido como o co-logaritmo da atividade do íon hidrogênio ( $-\log a_{H^+}$ ); para soluções diluídas, a atividade do íon  $H^+$  é praticamente igual à concentração molar e expressa a acidez do meio. O valor do pH para água pura, a 25°C, é igual a 7. Como resultado da presença de ácidos ou bases e também da hidrólise de sais dissolvidos, o valor do pH pode apresentar valores abaixo de 7 (meio ácido) ou acima de 7 (meio básico). Para efeitos práticos em análises de água, basta determinar o pH até segunda casa decimal.

A medida do pH baseia-se na determinação da atividade dos íons hidrogênio por meio da medida potenciométrica usando um eletrodo de vidro e um de referência ou um eletrodo de vidro combinado. A força eletromotriz

medida com o sistema do eletrodo de vidro combinado varia linearmente com o pH. O instrumento de medida de pH é, incluindo o eletrodo combinado, calibrado com soluções-tampão de pH conhecido.

### **Material**

pHmetro com compensador de temperatura, eletrodo de vidro combinado, agitador magnético com barra magnética, béqueres de 50 e 150 mL, balão volumétrico de 500 mL, cápsula de porcelana e dessecador com agente dessecante.

### **Reagentes**

Solução-tampão - Podem ser adquiridas, no comércio, soluções-tampão certificadas. Em geral são fornecidas em três valores de pH: 4, 7 e 10 (ou próximo destes). Essas soluções também podem ser preparadas no laboratório. A calibração do aparelho com o uso de eletrodo de vidro combinado deve ser efetuada como indicado no manual do aparelho.

Solução-tampão de biftalato pH 4 (25°C) - Pese 5,06 g de biftalato ácido de potássio, previamente seco a 110°C por 2 horas. Dissolva em água bidestilada e deionizada, transfira para um balão volumétrico de 500 mL e complete o volume.

Solução-tampão de fosfato pH 6,86 (25°C) - Seque, separadamente, cerca de 2,5 g de fosfato diácido de potássio e de fosfato ácido dissódico por duas horas a (10-130)°C e deixe esfriar em dessecador. Pese 1,694 g de fosfato diácido de potássio e 1,767 g de fosfato ácido dissódico e dissolva em água bidestilada e deionizada. Transfira para um balão volumétrico de 500 mL e complete o volume com água bidestilada e deionizada.

Solução-tampão de borato pH 9,18 (25°C) - Pese 1,9 g de borato de sódio decahidratado; dissolva em água bidestilada e deionizada. Transfira para um balão volumétrico de 500 mL com água bidestilada e deionizada.

Nota: as soluções-tampão acima mencionadas devem ser mantidas em geladeira a cerca de 4°C, a fim de se evitar contaminação por fungos. Pelo menos uma hora antes do uso das mesmas, retire dos frascos de solução-

estoque cerca de 20-30 mL que são transferidos a béqueres de 50 mL limpos e secos, de diâmetro suficiente para mergulhar o eletrodo de vidro combinado em seu interior. Lave o béquer com alguns mL do tampão, preencha com a solução, feche imediatamente e deixe sobre a bancada por uma hora pelo menos, para que a temperatura da solução atinja a temperatura ambiente. Após o uso no ensaio, descarte a solução.

**Procedimento** - Lave o eletrodo de vidro com água bidestilada e deionizada. Seque delicadamente com papel absorvente fino. Coloque o eletrodo na solução-tampão de fosfato preparada (béquer de 50 mL) com agitação suave e constante. Leia a temperatura da solução e verifique o valor do pH do tampão para esta temperatura (Tabela 3). Retire o eletrodo da solução e lave com água bidestilada e deionizada. Verifique a linearidade do eletrodo com o segundo tampão. Para efeito de ajuste de aparelhagem, escolha o tampão de biftalato se as amostras apresentarem  $\text{pH} < 7$  ou o tampão de borato se apresentarem  $\text{pH} > 7$ . Proceda de maneira semelhante ao descrito para tampão de fosfato. As amostras não requerem nenhuma preparação especial. Transfira cerca de 50 mL de amostra para um béquer de 100 mL. Lave o eletrodo e o compensador de temperatura com água bidestilada e deionizada, seque suavemente e coloque-os dentro do béquer com a amostra com agitação laminar. Espere a leitura ficar constante e anote o valor de pH da amostra

**Tabela 3** — Valores de pH de soluções-tampão em relação à temperatura da solução

t (°C)	Valores de pH de soluções-tampão padrão		
	Biftalato de potássio	Fosfato diácido de potássio e fosfato ácido dissódico (1:1)	Borato de sódio *
15	3,999	6,900	9,276
20	4,002	6,881	9,225
25	4,008	6,865	9,180
30	4,015	6,853	9,139
35	4,024	6,844	9,102
38	4,030	6,840	9,081
40	4,035	6,838	9,068

Fonte: MIDGLEY, D.; TORRANCE, K. Potenciometric water analysis. 2nd ed. New York: Hobn Wiley & Sons, 1991. p. 168.

### **A2.7. 204/IV DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS DISSOLVIDOS, SECOS A 180°C, PELO MÉTODO CONDUTIVIMÉTRICO**

A condutividade elétrica proporciona uma indicação da quantidade de sólidos totais dissolvidos presentes em uma amostra de água. Seu valor depende da concentração e do grau de dissociação dos íons, bem como da temperatura e da velocidade de migração dos íons no campo elétrico. A cela de condutividade não é seletiva, mede a soma total das concentrações dos eletrólitos dissolvidos na solução. Nenhuma conclusão pode ser fornecida sobre o tipo de íons presentes. O valor da concentração dos sólidos totais dissolvidos é estimado a partir de um eletrólito padrão como NaCl ou KC1.

#### **Material**

Condutivímetro com cela de condutividade, compensador de temperatura, béquer de 150 mL e termómetro (na ausência de compensador de temperatura).

#### **Reagentes**

Solução-padrão de NaCl 1000 mg/L - Pese 1000 mg de cloreto de sódio seco a 200°C por 3 horas e resfriado em dessecador, transfira para um balão volumétrico de 1000 mL e complete o volume com água bidestilada e deionizada.

**Procedimento** — calibre o equipamento com solução-padrão de cloreto de sódio. Em um béquer de 150 mL, coloque cerca de 100 mL de amostra de água homogeneizada. Insira a cela de condutividade na amostra, agite-a verticalmente para eliminar as bolhas de ar que possam estar presentes. Deixe a cela imersa e em repouso até o aparelho estabilizar-se. Faça a leitura, lave a cela com água deionizada antes e depois de cada leitura.

# **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 989815: Conexões de junta elástica para tubos de PVC rígido para adutoras e redes de água - Tipos - Padronização. ABNT, 1987.

BARRETO, E. F. “A análise microbiológica da água fornecida a unidades de alimentação de regiões administrativas do Distrito Federal”. Anuário de Produção de Iniciação Científica Discentes, **2009**, 12, 7.

BRETON, R. G. “Chemometrics: Data Analysis for the Laboratory and Chemical Plant”. Chichester: John Wiley, 2003.

CALDWELL, E.L.” Studies of subsoil pollution in relation to possible contamination of the ground water from human excreta deposited in experimental latrines”. Journal of Infectious Diseases, **1938**, 62, 272.

CAMPOS, J. E. G. “Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos”. Revista Brasileira de, Geociências, **2004**, 34, 41.

CRUZ, J.B.F.; CRUZ, A.M.; RESENDE, A.. “Análise microbiológica da água consumida em estabelecimentos da educação infantil da rede pública do Gama, Distrito Federal”. Sabios-revista saúde e biologia, **2009**, 4, 21.

DANTAS, A.S.L. “Geologia da faixa São Roque e intrusivas associadas na região entre São Paulo e Mairiporã, norte de São Paulo”. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2001.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. “Multivariate analysis. Methods and applications”. New York: John Wiley, 1984.

DISTRITO FEDERAL DECRETO N° 20.502, DE 16 DE AGOSTO DE 1999 Regulamenta a Lei n° 2.424, de 13 de julho de 1999, que dispõe sobre a construção, o funcionamento, a utilização, a administração, a fiscalização dos cemitérios e a execução dos serviços funerários no Distrito Federal.

DISTRITO FEDERAL DECRETO N° 20.502, DE 16 DE AGOSTO DE 1999 Regulamenta a Lei n° 2.424, de 13 de julho de 1999, que dispõe sobre a construção, o funcionamento, a utilização, a administração, a fiscalização dos cemitérios e a execução dos serviços funerários no Distrito Federal

DISTRITO FEDERAL. SEMARH. “Mapa Ambiental do Distrito Federal” Brasília, 2005. Disponível em: [www.semarh.df.gov.br](http://www.semarh.df.gov.br). Acessado dia 25/01/11.

EMBRAPA. Serviço de produção de informação. Sistema Brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA-EPI. Brasília, 1999.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. “Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas – um método baseado em dados existentes”. São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FREITAS, M. B. “Qualidade da água de consumo humano como indicador de condições de saúde e saneamento no Parque Fluminense.” Caderno Saúde Coletiva, **1998**, 6, 23. Supl. Esp. 1.

GAUCH, H.G.J. “Multivariate analysis in community ecology”. Cambridge: University Press. 1982.

INMET - Instituto Nacional de Metrologia. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/>. Acessado dia 10/08/2011.

LEGENDRE, L.; LEGENDRE, P. “Numerical ecology” Amsterdam: Elsevier, 1998.

LEPS, J.; SMILAUER. P. “Multivariate Analysis of Ecological Data Using Canoco”. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

LOUSADA, E. O. “Estudos Hidrogeológicos e isotópicos do Distrito Federal: Modelos e conceito de fluxo. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, 2005.

LOUSADA, E. O.; CAMPOS, J. E. G. “Proposta de modelos Hidrogeológico conceituai aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federa”l. Revista Brasileira de geociência, **2005**, 35, 407.

MANLY, B. F. J. “ Métodos Estatísticos Multivariados-uma introdução”. São Paulo: Artmed, 2008.

MARINHO, A. M. C. P. “Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios: estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza - Ceará.” Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, 1998.

MARTENS, H.; NAES, T. “Multivariate Catibration”. New York: John Wiley, 1989.

MARTINS, M.T.; PELLIZARI, V.H.; PACHECO, A.; MYAKI, D. M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N.R.S.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. “Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios”. Revista de Saúde Pública, **1991**, 25, 47.

MATOS, B. A. “Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismo no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo”. 2001. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2001.

MIGLIORINI, R. B.; LIMA, Z. M.; ZEILHOFER, L. V. A. C. “Qualidade das águas subterrâneas em áreas de cemitério. Região de Cuiabá – MT”. Águas Subterrâneas, **2006**, 20,15.

MIGLIORINI, R.B. “Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo”. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2004.

- MILLER, J. C.; MILLER, J. N. *Statistic for Analytical Chemistry*. Ed. 3, Bodmin: PTRPH, 1993, pág. 155.
- MURTEIRA, B. 1993. "Análise exploratória de dados. Estatística descritiva". Lisboa: McGraw- Hill, 1993.
- NEIRA, F. D.; TERRA, V. F.; SANTOS, R. P.; BARBIÉRIE, R. S.; "Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas no cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil". *Natureza on line*, **2008**, 6, 36
- OTTO, M. "Chemometrics". Weinheim: Wiley-VCH, 1999.
- PACHECO, A.; MATOS, B.A. "Cemitérios e meio ambiente". *Tecnologias do Ambiente*, **2000**, 33, 13.
- PACHECO, A.; SILVA, L.M.; MENDES, J.M.B.; MATOS, B.A. "Resíduos de cemitérios e Saúde Pública". *Revista Limpeza Pública*, **1999**, 52, 25.
- PIELOU, E. C. "Interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination". New York: John Wiley, 1984.
- PORTARIA 518/2004. Padrão de potabilidade da água para consumo humano. Ministério da Saúde, Brasília.
- PRADO, P. I.; THOMAS, M. L.; CARMO, R. L. ; HOGAN, D. J. "Ordenação Multivariada na Ecologia e seu uso em Ciências Ambientais". *Ambiente e Sociedade*, **2002**, 10, 1.
- RESOLUÇÃO CONAMA nº 396/2008. Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasil.
- REZENDE, E. C. M. "O Céu Aberto na Terra: uma leitura dos cemitérios de São Paulo na geografia urbana". Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2004.
- SILVA, R. W. C.; FILHO, W. M. "Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas". *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, **2008**, 9, 26.
- SOUZA, M. T.; CAMPOS, J. E. G. "O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal". *Revista Escola de Minas*. **2001**, 54, 191.
- TER B. C. J.F.; SMILAUER, P. "CANOCO – a FORTRAN Program for Canonical Community Ordination by (Partial) (Canonical) Correspondence Analysis, Principal Components and Redundancy Analysis. Ver. 4.5". *Plant Research International*.