



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

GRUPO DE ELETROQUÍMICA E CORROSÃO

ANA CRISTINA BASTOS DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO AÇUDE
SANTO ANASTÁCIO**

FORTALEZA-CE

2013

ANA CRISTINA BASTOS DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO AÇUDE SANTO ANASTÁCIO

Dissertação de mestrado submetida à Comissão Julgadora do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química (área de concentração Química Analítica).

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Nunes Correia

Co-orientadora: Profa. Dra. Helena Becker

FORTALEZA-CE

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- O45a Oliveira, Ana Cristina Bastos de.
Avaliação da qualidade das águas do açude Santo Anastácio. / Ana Cristina Bastos de Oliveira. –
2013.
124f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de
Química Orgânica e Inorgânica, Programa de Pós-Graduação em Química, Fortaleza, 2013.
Área de Concentração: Química Analítica.
Orientação: Profa. Dra. Adriana Nunes Correia.
Coorientação: Profa. Dra. Helena Becker.
1. Eutrofização. 2. Sazonalidade. 3. Qualidade. I. Título.

CDD 546

Esta Dissertação foi aprovada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Química, área de concentração Química Analítica, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, em cuja Biblioteca de Ciências e Tecnologia/UFC encontra-se à disposição dos interessados.

Ana Cristina Bastos de Oliveira
Ana Cristina Bastos de Oliveira

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 10/05/2013.

EXAMINADORES:

Helena Becker
Prof.^a Dra. Helena Becker
Universidade Federal do Ceará – UFC

Pedro de Lima Neto
Prof. Dr. Pedro de Lima Neto
Universidade Federal do Ceará – UFC

Mayara Carantino Costa
Dra. Mayara Carantino Costa
Universidade Federal do Ceará – UFC/DEH/PNPD

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, por me guiar durante o desenvolvimento deste trabalho, e à minha família, sobretudo meu marido Torres e meu filho Matheus, pela compreensão e apoio em todos os momentos.

Ao meu pai Raimundo (*in memorian*) e minha mãe Júlia, pela minha existência.

Às minhas tias que me criaram Sebastiana (*in memorian*) e Terezinha, a quem devo todas as minhas conquistas.

À Prof^a. Dra .Adriana Correia pela orientação, pela disponibilidade de analisar e sugerir modificações para melhorar esse trabalho e pela concessão do espaço para análises no GELCORR.

Especialmente à co-orientadora Profa. Dra. Helena Becker, pelo conhecimento transmitido, colaboração incansável e concessão da infraestrutura necessária para a realização das análises de nutrientes no LAQA.

Ao Prof. Dr. André Bezerra, por suas sugestões e participação no Exame Geral de Conhecimento e por ter concedido a infraestrutura necessária para as análises realizadas no LABOSAN.

À COGERH, na pessoa do Deílton, pelo apoio incondicional com relação à concessão do barco e da sonda multiparamétrica e pela realização das coletas; sem sua ajuda, esse trabalho não seria possível.

Aos Bolsistas Ítalo Rios e Karoline Alves pelo apoio nas coletas e análises de nutrientes no LAQA.

Aos meus Amigos do LABOSAN, especialmente Gilmar, Antônio e Mayara, pela contribuição sempre constante nos trabalhos realizados.

À Estação Meteorológica do Campus do Pici, pela grande contribuição com relação aos dados climáticos fornecidos durante essa pesquisa.

RESUMO

O Brasil possui um grande volume de água doce, porém a Região Nordeste e o Estado do Ceará sofrem pela escassez deste recurso. Diante deste quadro muitos rios desta região foram barrados para a construção de reservatórios. Inserido neste contexto está o açude Santo Anastácio (ASA), objeto desta pesquisa, localizado em Fortaleza-Ceará. O ASA está sofrendo progressivo processo de perda da qualidade e da profundidade de suas águas, principalmente em função das ações antrópicas. Assim, esse trabalho teve como objetivo diagnosticar a evolução da perda dessa qualidade, por meio de análises físicas, químicas e biológicas, além de calcular o índice de qualidade das águas (IQA) do açude, avaliar o nível de eutrofização e de assoreamento e estudar a variabilidade espacial e temporal dos seus parâmetros limnológicos. Todos os métodos de análise utilizados foram baseados na 21ª edição do “Standard methods for the examination of water and wastewater – APHA-AWWA-WPCF”. De acordo com os resultados, pode-se concluir que alguns dos parâmetros analisados, entre eles OD, fósforo total e DBO, estão em desacordo com os padrões estabelecidos para água doce, classe 3, pela Resolução CONAMA nº 357, na qual o ASA foi classificado, de acordo com seus usos preponderantes. Isto significa que esse corpo d’água se encontra impróprio para as finalidades para as quais ele se destina atualmente. A avaliação desse corpo hídrico apontou para baixa qualidade das suas águas, segundo o cálculo do IQA, que oscila entre bom e ruim, com agravamento na qualidade no ponto 1, que é a região do açude próxima à comunidade que reside no seu entorno. Com relação ao seu nível de eutrofização, ele foi classificado como hipereutrófico, classificação mais elevada no processo de envelhecimento artificial. Quanto à variação temporal dos parâmetros analisados, pode-se concluir que houve sazonalidade, com influência do clima local. Esse fato foi observado por meio do estudo das correlações entre os fatores climáticos no teste de Tukey e ratificado pela análise de componentes principais (PCA). Com relação à variação espacial, ela não foi observada na maioria das variáveis, com exceção do OD, que mostrou heterogeneidade no ponto 1, de acordo com o teste de Tukey.

Palavras-Chave: Açude Santo Anastácio; Eutrofização; Sazonalidade; Qualidade.

ABSTRACT

Brazil has a large quantity of freshwater, but the Northeast Region and state of Ceará suffer scarcity of this resource. In function of this, many rivers were barred to build reservoirs. Within this context, there is the Santo Anastácio dam (ASA), the object of this research, located in Fortaleza-Ceará. ASA is suffering progressive losses in the quality and depth of waters, mainly due to human actions. Thus, this study aimed to diagnose the evolution of this degradation by physical, chemical and biological analysis, as well as to calculate the water quality index (IQA) for ASA, to evaluate eutrophication and siltation levels and to study the spatial and temporal variability of their limnological parameters. All methods used here were based on the 21st edition of Standard methods for the examination of water and wastewater - APHA-AWWA-WPCF. By the results, it was possible to conclude that some of the analysed parameters, including OD, total phosphorus and BOD, were evaluated against the established standards for freshwater, class 3, by “Resolução CONAMA n°357”, in which ASA was classified according to its predominant uses. This means that this reservoir is unfit for the purposes for which it is currently used. The results indicated a low quality of the waters, according to IQA, which oscillated between good and bad, with deterioration in quality, at the point 1, which is the region of ASA dam near the community that resides in its surroundings. About the level of eutrophication, it was classified as hypertrophic, higher ranking in artificial aging process. Regarding the temporal variation of the parameters, it can be concluded that there was seasonal, with the influence of local climate. This fact was observed by the study of correlations among the climatic factors using Tukey’s test and ratified by Principal Component Analysis (PCA). In relation to spatial variation, it was not observed in most variables, except the OD, that exhibited heterogeneity at the point 1, according to Tukey’s test.

Keywords: Santo Anastácio Dam; Eutrophication; Siltation, Water Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Curvas médias da variação de qualidade da água.....	22
Figura 2 -	Localização do açude Santo Anastácio e pontos de coleta.....	29
Figura 3 -	Sonda multiparamétrica usada nas coletas.....	30
Figura 4 -	Embarcação usada nas coletas.....	31
Figura 5 -	Frascos usados nas coletas.....	32
Figura 6 -	Gráfico da variação dos parâmetros climáticos.....	37
Figura 7 -	Boxplot do cloreto por pontos observados.....	38
Figura 8 -	Boxplot do cloreto por data de coleta.....	40
Figura 9 -	Boxplot da DBO por pontos observados.....	43
Figura 10 -	Boxplot da DBO por data de coleta.....	44
Figura 11 -	Boxplot da DQO por pontos observados.....	46
Figura 12 -	Boxplot da DQO por data de coleta.....	47
Figura 13 -	Boxplot do O.D. por pontos observados.....	49
Figura 14 -	Boxplot do O.D. por data de coleta.....	51
Figura 15 -	Boxplot do nitrogênio amoniacal por pontos observados.....	54
Figura 16 -	Boxplot do nitrogênio amoniacal por data de coleta.....	55
Figura 17 -	Boxplot do nitrito por pontos observados.....	57
Figura 18 -	Boxplot do nitrito por data de coleta.....	58
Figura 19 -	Boxplot do nitrato por pontos observados.....	60
Figura 20 -	Boxplot do nitrato por data de coleta.....	62
Figura 21 -	Boxplot do nitrogênio total por pontos observados.....	64
Figura 22 -	Boxplot do nitrogênio total por data de coleta.....	66
Figura 23 -	Boxplot de fósforo total por pontos observados.....	67
Figura 24 -	Boxplot de fósforo total por datas de coleta.....	69
Figura 25 -	Boxplot de ortofosfato por pontos observados.....	70
Figura 26 -	Boxplot de ortofosfato por datas de coleta.....	71
Figura 27 -	Boxplot da clorofila a por pontos observados.....	73
Figura 28 -	Boxplot da clorofila a por data de coleta.....	75
Figura 29 -	Boxplot do IET por pontos observados.....	77
Figura 30 -	Boxplot do IET por data de coleta.....	78
Figura 31 -	Foto do canal que alimenta o Santo Anastácio mostrando as casas construídas irregularmente nas suas margens.....	81

Figura 32 - Foto do açude Santo Anastácio mostrando a proliferação dos aguapés na sua superfície.....	82
Figura 33 - Boxplot da temperatura da amostra por pontos observados.....	84
Figura 34 - Boxplot da temperatura da amostra por data de coleta.....	85
Figura 35 - Boxplot do pH por pontos observados.....	87
Figura 36 - Boxplot do pH por data de coleta.....	88
Figura 37 - Boxplot dos sólidos totais por pontos observados.....	90
Figura 38 - Boxplot do sólidos totais por data de coleta.....	91
Figura 39 - Boxplot da turbidez por pontos observados.....	93
Figura 40 - Boxplot da turbidez por data de coleta.....	94
Figura 41 - Boxplot do IQA por pontos observados.....	97
Figura 42 - Boxplot do IQA por data de coleta.....	97
Figura 43 - Boxplot da condutividade por pontos observados.....	99
Figura 44 - Boxplot da condutividade por data de coleta.....	100
Figura 45 - Boxplot da alcalinidade por pontos observados.....	102
Figura 46 - Boxplot da alcalinidade por data de coleta	103
Figura 47 - Boxplot do sulfeto por pontos observados.....	105
Figura 48 - Boxplot do sulfeto por data de coleta.....	106
Figura 49 - Gráficos de escores (amostras).....	107
Figura 50 - Gráficos de pesos (variáveis).....	108
Figura 51 - Resíduos sólidos retirados na limpeza do ASA.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrões para alguns parâmetros de qualidade das águas de classe 3.....	19
Quadro 2 - Categorias dos estados tróficos, segundo o índice de Carlson modificado.....	20
Quadro 3 - Equações representativas das curvas de qualidade do NSF, elaborada pela CETESB.....	21
Quadro 4 - Qualificação das águas de acordo com o IQA.....	23
Quadro 5 - Localização dos pontos de coleta.....	29
Quadro 6 - Parâmetros analisados e suas metodologias analíticas.....	33
Quadro 7 - Características da hipereutrofização.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Variação espacial e temporal do cloreto.....	38
Tabela 2 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o cloreto.....	39
Tabela 3 -	Correlação dos fatores climáticos com o cloreto.....	39
Tabela 4 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o cloreto.....	40
Tabela 5 -	Valores de salinidade calculados.....	41
Tabela 6 -	Variação espacial e temporal da DBO.....	42
Tabela 7 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	43
Tabela 8 -	Correlação dos fatores climáticos com a DBO.....	43
Tabela 9 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a DBO.....	44
Tabela 10 -	Variação espacial e temporal da DQO.....	45
Tabela 11 -	Correlação dos fatores climáticos com a DQO.....	46
Tabela 12 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a DQO.....	47
Tabela 13 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a DQO.....	48
Tabela 14 -	Variação espacial e temporal do oxigênio dissolvido	48
Tabela 15 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o O.D.....	49
Tabela 16 -	Correlação dos fatores climáticos com o O.D.....	50
Tabela 17 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o O.D.....	51
Tabela 18 -	Variação espacial e temporal do nitrogênio amoniacal.....	54
Tabela 19 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey com o nitrogênio amoniacal.....	54
Tabela 20 -	Correlação dos fatores climáticos com o nitrogênio amoniacal.....	55
Tabela 21 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey com o nitrogênio amoniacal.....	56
Tabela 22 -	Variação espacial e temporal do nitrito.....	57
Tabela 23 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey com o nitrito.....	57
Tabela 24 -	Correlação dos fatores climáticos com o nitrito.....	58
Tabela 25 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey com o nitrito.....	59
Tabela 26 -	Variação espacial e temporal do nitrato.....	60
Tabela 27 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey com o nitrato.....	61
Tabela 28 -	Correlação dos fatores climáticos com o nitrato.....	61

Tabela 29 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey com o nitrato.....	62
Tabela 30 -	Variação espacial e temporal do nitrogênio total.....	64
Tabela 31 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey com o nitrogênio total.....	65
Tabela 32 -	Correlação dos fatores climáticos com o nitrogênio total.....	65
Tabela 33 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey com o nitrogênio	65
Tabela 34 -	Variação espacial e temporal do fósforo total.....	67
Tabela 35 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o fósforo total.....	68
Tabela 36 -	Correlação dos fatores climáticos com o fósforo total.....	68
Tabela 37 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o fósforo total.....	69
Tabela 38 -	Variação espacial e temporal do ortofosfato.....	70
Tabela 39 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o ortofosfato.....	71
Tabela 40 -	Correlação dos fatores climáticos com o ortofosfato.....	71
Tabela 41 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o ortofosfato.....	72
Tabela 42 -	Variação espacial e temporal da clorofila a.....	73
Tabela 43 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a clorofila a.....	74
Tabela 44 -	Correlação dos fatores climáticos com a clorofila a.....	74
Tabela 45 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey com a clorofila a.....	75
Tabela 46 -	Resultado do IET para o açude Santo Anastácio.....	76
Tabela 47 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o IET.....	78
Tabela 48 -	Correlação dos fatores climáticos com o IET.....	78
Tabela 49 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o IET.....	79
Tabela 50 -	Variação espacial e temporal da temperatura da amostra.....	83
Tabela 51 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a temperatura da amostra.....	83
Tabela 52 -	Correlação dos fatores climáticos com a temperatura da amostra.....	84
Tabela 53 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a tempe-	

	ratura da amostra.....	85
Tabela 54 -	Variação espacial e temporal do pH.....	86
Tabela 55 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o pH	86
Tabela 56 -	Correlação dos fatores climáticos com o pH.....	87
Tabela 57 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o pH.....	88
Tabela 58 -	Variação espacial e temporal dos sólidos totais.....	89
Tabela 59 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey sólidos totais.....	89
Tabela 60 -	Correlação dos fatores climáticos com os sólidos.....	90
Tabela 61 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey sólidos totais.....	91
Tabela 62 -	Variação espacial e temporal da turbidez.....	92
Tabela 63 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para turbidez.....	92
Tabela 64 -	Correlação dos fatores climáticos com a turbidez.....	93
Tabela 65 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a turbidez..	94
Tabela 66 -	Índice de qualidade da água do açude Santo Anastácio.....	95
Tabela 67 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o IQA.....	96
Tabela 68 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o IQA.....	98
Tabela 69 -	Variação espacial e temporal da condutividade.....	98
Tabela 70 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a condutividade.....	99
Tabela 71 -	Correlação dos fatores climáticos com a condutividade.....	100
Tabela 72 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a condutividade.....	101
Tabela 73 -	Variação espacial e temporal da alcalinidade.....	101
Tabela 74 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a alcalinidade.....	102
Tabela 75 -	Correlação dos fatores climáticos com a alcalinidade.....	102
Tabela 76 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a alcalinidade.....	103
Tabela 77 -	Variação espacial e temporal da sulfeto.....	104
Tabela 78 -	Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o sulfeto.....	104
Tabela 79 -	Correlação dos fatores climáticos com o sulfeto.....	105
Tabela 80 -	Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o sulfeto.....	106
Tabela 81 -	Valores de peso obtidos na análise de componentes principais.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Afluente
ASA	Açude Santo Anastácio
AT	Alcalinidade Total
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CV	Coeficiente de variação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEHA	Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
DP	Desvio padrão
DQO	Demanda química de oxigênio
EF	Efluente
ETE	Estação de tratamento de efluentes
GELCORR	Grupo de Eletroquímica e Corrosão
IET	Índice de Eutrofização
IQA	Índice de Qualidade da Água
LABOSAN	Laboratório de Saneamento
LAQA	Laboratório de Química Ambiental
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE QUADROS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Aspectos legais quanto à classificação das águas do açude Santo Anastácio.....	17
1.1.1 Condições de qualidade.....	18
1.1.2 Padrões de qualidade.....	18
2 OBJETIVO.....	24
2.1 Objetivo geral.....	24
2.2 Objetivos específicos.....	24
3 ÁREA DE ESTUDO.....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 Reagentes e soluções.....	28
4.2 Escolha dos parâmetros.....	28
4.3 Coleta das amostras.....	28
4.3.1 Local das coletas.....	28
4.3.2 Frequência das coletas.....	30
4.3.3 Técnica de amostragem e preservação da amostra.....	30
4.4 Local e procedimentos das análises.....	32
4.5 Métodos de análise.....	33
4.6 Análise de dados.....	34

4.6.1 Correlação entre os parâmetros químicos, físicos e climáticos.....	34
4.6.2 Análise de componentes principais.....	34
4.6.3 Análise estatística dos dados obtidos nas análises dos parâmetros.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Variação climática durante o período da pesquisa.....	37
5.2 Avaliação da poluição orgânica das águas do ASA.....	37
5.2.1 Cloretos.....	38
5.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	42
5.2.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	45
5.2.4 Oxigênio Dissolvido (OD).....	48
5.3 Avaliação da qualidade das águas do ASA, quanto ao nível de poluição bacteriana.....	52
5.3.1 Coliformes Termotolerantes.....	52
5.4 Avaliação do teor de nutrientes e clorofila a	53
5.4.1 Nitrogênio Amoniacal.....	53
5.4.2 Nitrito.....	56
5.4.3 Nitrato.....	59
5.4.4 Nitrogênio total.....	63
5.4.5 Fósforo total e ortofosfato.....	66
5.4.6 Clorofila a.....	73
5.5 Cálculo do estado trófico (IET) do açude Santo Anastácio.....	76
5.5.1 Características de um reservatório hipereutrófico.....	79
5.5.2 Possíveis causas da eutrofização do açude Santo Anastácio.....	80
5.6 Parâmetros usados no cálculo do IQA das águas do ASA.....	82
5.6.1 Temperatura da amostra.....	82
5.6.2 pH.....	86
5.6.3 Sólidos Totais.....	89

5.6.4 Turbidez.....	92
5.7 Cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA).....	95
5.7.1 Índice usado pela CETESB.....	95
5.8 Avaliação do nível de poluição de um modo geral.....	98
5.8.1 Condutividade.....	98
5.8.2 Alcalinidade total.....	101
5.8.3 Sulfeto.....	104
5.9 Estudo da sazonalidade através da análise dos componentes principais (PCA).	107
5.10 Processo de assoreamento.....	110
6 SUGESTÕES.....	113
6.1 Controle da eutrofização e assoreamento.....	113
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS.....	119

1 INTRODUÇÃO

A quantidade de água doce mundial está distribuída da seguinte forma: nas calotas polares e glaciais (79%), no subsolo (20%) e somente 1% como água superficial de fácil acesso. As perspectivas de escassez e degradação da qualidade dos recursos hídricos do planeta colocaram no cerne das discussões globais as necessidades de adoção do planejamento e do manejo integrado desse recurso, que está se tornando não renovável. [1]

Apesar do Brasil ocupar quase metade da área da América do Sul e de ter em torno de 60% da Bacia Amazônica, que escoar um quinto do volume de água doce do mundo, há áreas críticas no Nordeste, onde essa escassez deixou de ser apenas uma ameaça. Com três bacias hidrográficas que contêm o maior volume de água doce do mundo: Amazonas, São Francisco e Paraná, o Brasil busca servir de exemplo na eficácia da gestão de seus recursos hídricos. [1] A busca da água como uma necessidade de todos os seres vivos tem marcado as relações entre o homem e o meio semiárido do nordeste brasileiro.

Inserido nesse contexto, o estado do Ceará possui 86,8% da sua área na região do semiárido brasileiro com precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm, um índice de aridez de até 0,5%, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial e um risco de seca maior que 60%. [2]

Levando-se em conta o ciclo hidrológico dos açudes do Ceará, em suas várias fases, pode-se considerar a precipitação como a fonte de alimentação dos mananciais. Assim sendo, a precipitação média anual sobre determinada região corresponderia ao recurso hídrico renovável máximo de que se poderia dispor, porém, grande parte dessa água precipitada é consumida no processo de evapotranspiração, restando, pois, uma fração relativamente pequena para compor o escoamento superficial direto, a infiltração e, em seguida, o escoamento subterrâneo. As taxas de evaporação são tão altas que, enquanto chovem 800 mm/ano, a evaporação chega a 2.100 mm/ano. [3]

A importância da água para a qualidade de vida da população é fundamental. No Ceará, porém, a distribuição desse bem essencial à vida é muito desigual. Dos seus 8.185.286 habitantes, cerca de três milhões não têm acesso à

água tratada e mais de cinco milhões não têm saneamento, de acordo com dados das operadoras de sistemas de saneamento: Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) e Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Não se dispõe de estatísticas confiáveis, mas se sabe que muitas das mortes e das enfermidades da população estão associadas às condições insalubres de água e de saneamento. [4]A poluição de água doce no Ceará consiste numa diminuição interna da quantidade de água disponível para diversos fins. Para suprir estas necessidades, muitos rios são usados como fonte de abastecimento de água e, geralmente, existe a necessidade de regular o fluxo em períodos de seca. Para este propósito, muitos rios são barrados para criar acumuladores de água ou reservatórios, que são os açudes.[5] Nesse grupo está o açude Santo Anastácio (ASA) objeto do presente estudo. O ASA é um pequeno reservatório localizado no Campus do Pici (UFC), Fortaleza-CE.

1.1 Aspectos legais quanto à classificação das águas do açude Santo Anastácio

O Ministério do Meio Ambiente, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA com a resolução Nº 357/05, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, que foi recentemente atualizada pela resolução 430/11.

Com base na resolução acima citada, que fornece padrões de qualidade baseados nos usos preponderantes dos corpos hídricos, o açude Santo Anastácio pode ser classificado como um corpo receptor de água doce, em função da sua salinidade abaixo de 0,5‰. Assim suas águas podem ser enquadradas na classe 3, pois as mesmas podem ser destinadas aos seguintes usos: pesca amadora, recreação de contato secundário e à dessedentação de animais. Esta resolução estabelece os níveis de qualidade que os corpos hídricos deveriam possuir para atender as necessidades da comunidade, considerando que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas.

De acordo com o art. 16 da referida legislação, tem-se os seguintes valores padrões e condições para alguns parâmetros de qualidade das águas de classe 3, que foram analisados nesse estudo:

1.1.1 Condições de qualidade

- a) Resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;
- b) Coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de 2500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 4000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes, de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;
- c) DBO 5 dias a 20°C até 10 mg/L O₂;
- d) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O₂;
- e) Turbidez até 100 UNT;
- f) Cor verdadeira: até 75 mg Pt/L; e,
- g) pH: 6,0 a 9,0.

1.1.2 Padrões de qualidade

O Quadro1 é um fragmento da tabela III do art. 16 da resolução CONAMA 375/05, correspondente à classe 3 - águas doces. Foram selecionados somente os parâmetros relevantes para a presente pesquisa, ou seja, as variáveis analisadas serviram de base para diagnosticar os mais variados tipos de poluição que acometeram as águas do ASA, durante o período deste estudo.

Quadro 1 - Padrões para alguns parâmetros de qualidade da água, classe 3.

PADRÕES	
PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Clorofila a	60 µg/L
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L
Cloreto total	250 mg/L Cl
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,075 mg/L P
Nitrato	10 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L N, para pH > 8,5
Sulfato total	250 mg/L SO ₄
Sulfeto	0,3 mg/L S

Fonte: CONAMA Nº 357, 2005.

Outro padrão de qualidade que também pode ser usado para a classificação das águas do ASA é o índice do estado trófico (IET), calculado por Carlson modificado por Lamparelli. [7]

Esse estudo se baseia no seguinte cálculo:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL}) / \ln 2)))(1)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT}) / \ln 2))(2)$$

PT: Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L

CL: Concentração de clorofila a, medida à superfície da água, em µg/L

O resultado final do IET é determinado pela média aritmética dos índices relativos ao fósforo total e clorofila a, como mostra a equação 3.

$$\text{IET} = [\text{IET(PT)} + \text{IET(CL)}] / 2(3)$$

Os reservatórios são classificados conforme o Quadro 2, que apresenta as categorias dos estados tróficos, de acordo com o cálculo do IET.

Quadro 2 - Categorias dos estados tróficos, segundo o Índice de Carlson Modificado

Categoriadoestado trófico	Ponderação	P - total (P- mg/m³)	Clorofila a (CHL a - mg/m³)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$P > 233$	$CHL a > 69,05$

Fonte: Lamparelli, 2004

Além dos padrões citados anteriormente, também tem-se como parâmetro de classificação, o índice de qualidade da água (IQA) usado pela CETESB. Ele é determinado pelo produtório ponderado das qualidades das águas correspondentes às variáveis: OD, DBO, coliformes fecais, temperatura, pH, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total. Para esses nove parâmetros foram definidas curvas e a variação da qualidade da água é determinada de acordo com o estado de cada variável, levando em consideração os pesos relativos das mesmas e as condições em que se apresentavam cada uma delas, de acordo com uma escala de valores - Rating. [8]

Visando facilitar a utilização das curvas em planilhas, a CETESB propôs equações de ajustes para cada um dos parâmetros, as quais são apresentadas no Quadro 3, onde foram apresentadas somente as equações referentes às faixas, entre os limites mínimo e máximo, para os nove parâmetros analisados, de acordo com os resultados obtidos nessa pesquisa.[9]

As curvas de qualidade da água para cada um dos parâmetros são apresentadas na Figura 1. Estas curvas foram formuladas pelo NSF (National Sanitation Foundation) com uma pequena adaptação realizada pela CETESB, que substituiu o nitrato pelo nitrogênio total.

Quadro 3 - Equações representativas das curvas de qualidade do NSF, elaborada pela CETESB.

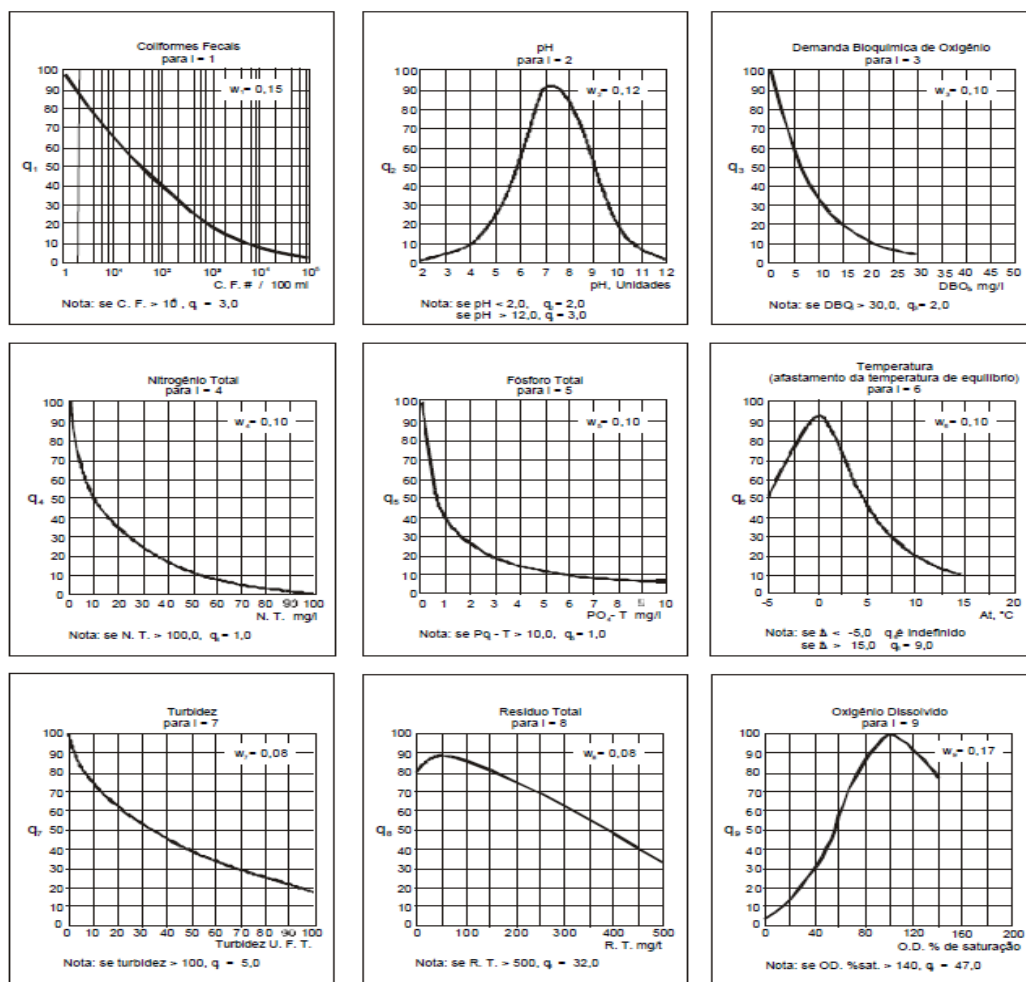
PARÂMETRO	Lim. min(>)	Lim. max(≤)	EQUAÇÃO DE QI
Log ₁₀ (coliformes term.)	1	5	$100-37,2*\log C+3,60743*\log C^2$
pH	7	8	$-427,8+142,05*pH-9,695*pH^2$
DBO	5	15	$104,67-31,5463*\log_{10}(C)$
	15	30	$4394,91*C^{-1,99809}$
Nitrogênio total (mgN/L)	0	10	$100-8,169*C+0,3059C^2$
Fósforo (mgPO ₄ /L)	0	1	$99*EXP(-0,91629*C)$
	1	5	$57,6-20,178*C+2,1326*C^2$
Temperatura (°C)	94 (valor constante assumido pela CETESB)		
Turbidez (UNT)	0	25	$100,17-2,67*turb+0,03775*turb^2$
	25	100	$84,76*EXP(-0,016206*TURB)$
Sólidos totais (mg/L)	0	150	$79,75+0,166*C-0,001088*C^2$
	150	500	$101,67-0,13917*C$
	500		32
Percentual de saturação de OD	0	50	$3+0,34*(\%sat)+0,008095*(\%sat)^2+1,35252*0,00001*(\%sat)^3$
	50	85	$3-1,166*(\%sat)+0,058*(\%sat)^2-3,803435*0,0001*(\%sat)^3$
	85	100	$3+3,7745*(\%sat)0,704889$
	100	140	$3+2,9*(\%sat)-0,02496*(\%sat)^2+5,60919*0,00001*(\%sat)^3$
Concentração de Saturação de OD(mg/L)	$Cs=(14,62-0,3898*temp+0,006969*temp^2-0,00005896*temp^3)(1-0,0000228675*altitude)^{5,167}$		
Percentual de saturação (%)	$100*OD/Cs$		

Fonte: CETESB, 2004; SRH-PE, 2005

Para alguns parâmetros como coliformes, DBO, nitrogênio, fósforo e turbidez, a melhor qualidade da água (maior q_i , que é um valor obtido das curvas de qualidade da água, em função do resultado da análise) é obtida com as menores concentrações desses parâmetros, pois a curva é sempre descendente. Já para outros parâmetros como pH, temperatura, sólidos totais e oxigênio dissolvido, foi determinado um ponto ótimo, com nota máxima, a partir da qual valores superiores e inferiores implicam em diminuição do índice.[9]

A Figura 1 mostra as curvas de qualidade da água para os nove parâmetros usados no cálculo do IQA.

Figura 1 - Curvas médias da variação de qualidade da água.



Fonte: CETESB, 1995

Esse estudo pode ser realizado pela utilização da equação:

$$IQA = \sum p_i \cdot q_i^{w_i} \quad (4)$$

$i = 1$ a 9 , são as nove variáveis citadas acima, usadas no cálculo;

IQA = índice de qualidade da água, é um número que varia de 0 a 100, sendo usado na classificação das águas conforme o quadro 4;

q_i = obtido do seu respectivo gráfico, em função do resultado da análise;

w_i = peso correspondente da variável, em função de sua importância para a qualidade da água, sendo um número de 0 a 1;

$n = 9$, nº de variáveis que entram no cálculo;

p_i = produto de i variando de 1 a n .

A qualidade de água doce, indicada pelo IQA em uma escala de 0 a 100, é classificada em faixas, como pode ser visto no Quadro 4:

Quadro 4 - Qualificação das águas de acordo com o IQA

FAIXA DE IQA	QUALIFICAÇÃO
$79 < IQA \leq 100$	Ótima
$51 < IQA \leq 79$	Boa
$36 < IQA \leq 51$	Regular
$19 < IQA \leq 36$	Ruim
$IQA < 19$	Péssima

Fonte: Derísio, 2007

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade das águas do açude Santo Anastácio, por meio do monitoramento da variação das características físicas, químicas, biológicas e climáticas.

2.2 Objetivos específicos

1. Estudar a variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas do ASA, com base nas suas variáveis limnológicas;
2. Estimar o nível de poluição do ASA em função da quantidade de matéria orgânica e bacteriana;
3. Determinar o índice de Qualidade das Águas do ASA;
4. Avaliar a poluição por nutrientes e clorofila a e classificar o ASA quanto ao seu nível trófico;
5. Propor soluções de remediação

3 ÁREA DE ESTUDO

O ASA foi construído em 1918, pelo represamento do riacho da sangria da lagoa de Parangaba, sendo parte da bacia do rio Maranguapinho. Esse açude está localizado, parcialmente, no campus do Pici, em Fortaleza, Ceará, Brasil, onde 42% da área inundada estão dentro do Campus do Pici (UFC).

Geograficamente, a localização desse reservatório fica compreendida entre os pontos de 3°44'36" Lat. S e 38°34'13" Long. W, envolve uma bacia hidráulica com cerca de 12,8 hectares e uma bacia hidrográfica com aproximadamente 143.400 m². Sua barragem possui 182 m de comprimento. [5]

As margens do ASA encontram-se totalmente habitadas, exceto a parte física que se localiza na área do Campus do Pici. A população que habita esta área é, em sua maioria, de baixa renda e sem acesso a uma educação ambiental esclarecedora, o que faz com que contribua com dejetos humanos (lixo e esgoto doméstico) para o processo de eutrofização e assoreamento do ASA. [10]

O comprometimento da qualidade de suas águas está ligado principalmente ao fato das comunidades que vivem às margens do canal não disporem de infraestrutura básica de saneamento, por ter suas moradias construídas de maneira irregular, às margens do mesmo. Outros fatores relevantes são o processo de erosão e de assoreamento. A fonte de poluição é pontual e proveniente principalmente do aglomerado urbano existente na área de preservação desse corpo de água. Não existe o monitoramento da água desse açude, apesar dele ser usado regularmente pela população circunvizinha, para pesca e lazer.

Os estudos sobre o açude Santo Anastácio começaram em 1975 com Oliveira [5], que realizou um estudo biológico-pesqueiro do açude tendo em vista a verificação qualitativa da biomassa e efetuou um levantamento das condições ambientais e físico-químicas das águas. Esse estudo não apresentou muita representatividade devido ao seu curto período de tempo para obtenção de dados que não cobriu o ciclo anual e, por isso, alcançou apenas níveis preliminares.

Fernandes [11] fez um estudo limnológico do ASA, no período de setembro a novembro de 1978 e constatou um elevado valor na turbidez. Como resultados, teve-se transparência entre 40 e 73 cm, taxa de oxigênio muito baixa e teor de CO₂

elevado, junto com pH entre 7,3 e 7,9, com grande quantidade de matéria orgânica e nitrito.

Borges [12] fez exames químicos e bacteriológicos no ASA, que mostraram um elevado teor de coliformes das espécies *Escherichia coli* (Migula) e *Aero bacter aerogenes* (Kruse). Chegou-se à conclusão de que as águas do açude estavam poluídas, mas que ainda poderia ser utilizado para a piscicultura.

Pereira [13] estudou aspectos da sedimentação e concluiu que o processo de assoreamento diminuiu a capacidade do ASA de 500.000 m³ para 440.000m³, pela deposição de matéria orgânica e inorgânica.

Klein [14] fez uma pesquisa sobre o “standing crop” e produtividade primária da água do ASA, encontrou valores de pH tendendo para alcalino e alto valores de clorofila a. Por esses resultados, foi possível concluir, com base na situação de eutrofização, que essas águas seriam adequadas para abastecer os tanques da Estação de Piscicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

Gurgel [15] pesquisou as causas do acidente ecológico que matou muitos peixes em 6 de março de 1991, ele chegou à conclusão de que o fato ocorreu em decorrência de perturbações atmosféricas, como queda da pressão barométrica, chuvas repentinas e ventos fortes, que fez revolver o fundo do açude e liberou gases tóxicos como H₂S, CH₄ e NH₃.

Lima [16] estudou os níveis de matéria orgânica dissolvida, em decorrência da poluição que o ASA vinha sofrendo ao longo de muitos anos, o que propiciou o aumento exagerado de vegetação aquática e quebra no equilíbrio natural do ecossistema, estabelecendo novas condições para a cadeia vital, o que justificou o aparente estado de eutrofização artificial do açude.

Figueiredo [17] analisou os níveis da concentração de compostos químicos dissolvidos, tais como, o nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, DQO e DBO e procurou estabelecer correlações entre os valores atuais e os anteriores, com o propósito de usar a água do ASA para a aquicultura. Os parâmetros analisados foram comparados às necessidades ecológicas para a aquicultura, os quais

revelaram que este corpo hídrico era, na época, um excelente habitat natural para essa atividade.

Lima et al [18] discutiram dados das análises físico-químicas e avaliou a evolução temporal das concentrações de espécies químicas presentes no ASA. As amostras foram coletadas de setembro/2003 a maio/2004 e foram efetuadas medidas da condutividade elétrica, pH e das concentrações de alguns íons. Por meio desse trabalho, chegou-se à conclusão que esses parâmetros estão relacionados com fatores climáticos, à atividade dos micro-organismos e ao tempo de retenção das águas do açude.

Farias [10] efetuou um diagnóstico sobre as características físicas e químicas nas águas e metais nos sedimentos do ASA visando compreender sua dinâmica e obter informações básicas para subsidiar programas de gerenciamento, proteção e aproveitamento adequado desse recurso hídrico. Segundo a autora, os resultados indicaram a uniformidade do açude quanto às variáveis analisadas. Relatou-se que a análise de nutrientes, juntamente com a clorofila a, sugere que o açude apresentava elevado nível de eutrofização. Nesse trabalho, ficou concluído que os agentes eutrofizantes eram adicionados diretamente na forma de nitratos e fosfatos ou, indiretamente, na forma de compostos orgânicos, que, por decomposição biológica, formavam amônia ou nitratos e fosfatos. A autora concluiu que a poluição química no ASA abrangia uma grande variedade de alterações ecológicas significativas, incluindo os efeitos químicos causados por esgotos domésticos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Reagentes e soluções

Todas as soluções necessárias para as análises foram preparadas, de acordo com o Standard Methods. [19] Para o preparo das mesmas, foi utilizada água purificada pelo sistema Milli-Q. Todos os reagentes utilizados foram de pureza analítica (PA).

4.2 Escolha dos parâmetros

A seleção dos parâmetros analisados está diretamente relacionada aos objetivos desta pesquisa. Existe uma grande variedade de indicadores de qualidade, para esse trabalho foram escolhidos os parâmetros abaixo, no sentido de avaliar o nível de poluição das águas do Santo Anastácio, suas causas e consequências. Os parâmetros escolhidos foram:

- Cloretos, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Oxigênio Dissolvido (OD), para detectar o teor de poluição orgânica;
- Coliformes termotolerantes, para determinar o nível de poluição bacteriana;
- Nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila a, para avaliar o estágio do processo de eutrofização;
- pH, temperatura, sólidos totais e turbidez para determinar o índice de qualidade da água (IQA).
- Alcalinidade, condutividade e sulfeto, para avaliar o nível de poluição de um modo geral.

4.3 Coletas das amostras

4.3.1 Local das coletas

Ao amostrar as águas do ASA, foram escolhidos pontos-chaves, de forma a detectar as influências mais representativas da fonte poluidora desse corpo d'água, que é o despejo do esgoto sanitário das comunidades ribeirinhas.

Em estudos realizados por Farias [10], foram escolhidos três pontos de coleta (Figura 2): próximo às habitações da comunidade que vive às margens do ASA (ponto 1), próximo a descarga do canal (ponto 2) e próximo à sua barragem (ponto

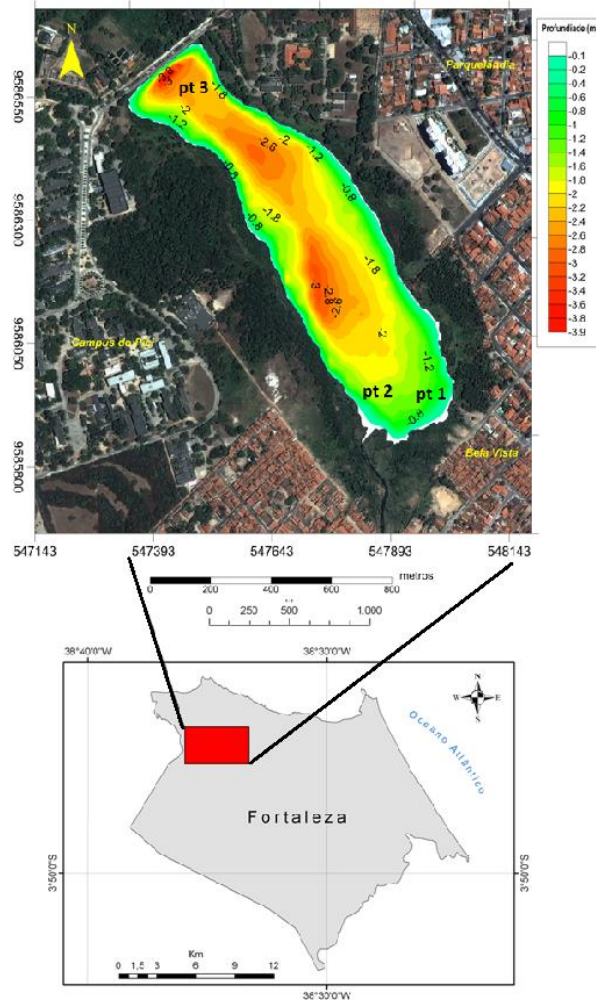
3), no campus do Pici (UFC). A localização geográfica dos pontos está representada no Quadro 5.

Quadro 5 - Localização dos pontos de coleta.

Ponto	Latitude / Longitude	Profundidade do local (m)
1	9585932 / 547872	0,6
2	9586260 / 547728	2,6
3	9586538 / 547418	2,1

Fonte: COGERH, 2011

Figura 2 - Localização do açude Santo Anastácio e pontos de coleta



Fonte: Adaptado de LIMA, 2011

Legenda: Próximo a comunidade (pt 1), próximo a descarga do canal (pt 2) e próximo à sua barragem (pt 3), no campus do Pici (UFC).

Foram realizadas, pela COGERH, algumas medições *in situ*, com uma sonda multiparamétrica (HI 9820 HANNA INSTRUMENTS), mostrada na Figura 3. Os parâmetros analisados no três pontos de coleta foram: oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura e pH.

Figura3 - Sonda multiparamétrica usada nas coletas



Fonte: Próprio autor, 2012

4.3.2 Frequência das coletas

Para avaliar a variação dos parâmetros físicos e químicos com relação à sazonalidade climática foram escolhidas datas que contemplaram períodos de chuva e de estiagem, na região do ASA.

As datas selecionadas para coletas foram: junho de 2011 e 2012 (final do período chuvoso), janeiro e novembro de 2012 (períodos de estiagem).

4.3.3 Técnica de amostragem e preservação da amostra

O acesso ao local de coleta foi feito por meio do uso de barcos a motor, como mostra a figura 4, gentilmente cedidos pelo corpo de bombeiros do estado do Ceará, na 1ª coleta e pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) nas três últimas coletas. Todas as coletas foram realizadas no período da manhã.

Figura 4 - Embarcação usada nas coletas



Fonte: Próprio autor, 2012

Para retirada da amostra procedeu-se a imersão de frascos especificamente selecionados para armazenar amostras dependendo do tipo de análise. Foram utilizados os seguintes frascos:

- Sulfeto - frasco de vidro âmbar com capacidade para um litro, lavado com água destilada. Foram adicionadas 5 gotas de acetato de zinco para precipitar o sulfeto e 6 gotas de hidróxido de sódio no ato da coleta para preservação da amostra.
- Análise microbiológica - frasco previamente esterilizado em autoclave.
- Demais análises - frasco de polietileno de cinco litros, lavado e enxaguado repetidas vezes com água destilada.

Os frascos foram acondicionados em caixa de isopor com gelo, até sua chegada ao laboratório, como foi exibido na figura 5. Para preservar as amostras, os frascos foram manipulados adequadamente de modo a evitar a contaminação de sua superfície interna, principalmente próximo ao gargalo e à tampa. No laboratório foram seguidos os prazos de análise, determinados pelas normas.

O transporte até o laboratório foi realizado com a maior rapidez possível e ao chegar neste local, foram realizadas algumas análises imediatas, como alcalinidade, nutrientes, DBO e DQO.

O restante das amostras foi acondicionado no escuro e na temperatura de 4°C, para manter a sua estabilidade, evitando ou reduzindo a atividade biológica na mesma.

Figura 5 - Frascos usados nas coletas



Fonte: Próprio autor, 2012

Uma porção da amostra, usada para analisar os nutrientes (nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e ortofosfato), foi filtrada em filtros de membrana com porosidade de 0,45 mm e os filtros foram usados para análise de clorofila a. A água filtrada foi imediatamente analisada para os nutrientes.

4.4 Local e procedimentos das análises

Este trabalho de pesquisa se consolidou em função de uma colaboração científica entre os membros do Grupo de Eletroquímica e Corrosão, GELCORR (Profa. Dra. Adriana Nunes Correia), Laboratório de Química Analítica Ambiental, LAQA (Profa. Dra. Helena Becker), ambos do Departamento de Química Analítica e Físico-Química e do Laboratório de Saneamento Ambiental, LABOSAN (Prof. Dr. André Bezerra dos Santos) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, todos da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Os laboratórios destes três grupos de pesquisa contam com boa infraestrutura, dispendo de equipamentos, vidrarias e reagentes necessários para a execução desta pesquisa, com capacidade adequada para a realização de

experimentos com qualidade analítica. Os procedimentos, prazos e padrões de armazenamento das amostras estão descritos no Standard Methods.

4.5 Métodos de análise

Todos os métodos de análise descritos no quadro 6, foram baseados na 21ª edição do “Standard methods for the examination of water and wastewater – APHA-AWWA-WPCF”, 2005 e são mostrados no Quadro 6. [19]

Quadro 6 - Parâmetros analisados e suas metodologias analíticas

Variáveis	Metodologias analíticas
Clorofila a	Método espectrofotométrico -10200 H
Nitrito dissolvido	Método colorimétrico - 4500-NO ₂ ⁻ B
Nitrato dissolvido	Método da redução do cádmio - 4500-NO ₃ ⁻ E
Nitrogênio amoniacal dissolvido	Método do fenato - 4500-NH ₃ F
Ortofosfato dissolvido	Método do ácido ascórbico - 4500-P E
Fósforo total	Método da digestão simultânea - 4500-P B
Nitrogênio total	Método da digestão simultânea- 4500-N
Sulfeto total	Método iodométrico
Coliformes termotolerantes	Método Collilert
Turbidez	Método nefelométrico - turbidímetro
Demanda química de oxigênio (DQO)	Método colorimétrico, refluxo fechado - 5220 D.
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Teste de DBO de 5 dias -5210 B
Sólidos totais	Sólidos Totais Secos a 103 - 105 °C-2540 B.
Cloreto	Método argentométrico(Mohr)
pH	Método eletrométrico-4500-H + B
Oxigênio Dissolvido (OD)	Método eletrométrico
Condutividade	Método eletrométrico
Temperatura	Método eletrométrico
Alcalinidade	Método da titulação potenciométrica

Fonte: Standard Methods, 2005

4.6 Análise de dados

4.6.1 Correlação entre os parâmetros químicos, físicos e climáticos

O estudo da influência dos fatores climáticos sobre a qualidade das águas do ASA foi realizado com base na análise da correlação dos mesmos com os parâmetros químicos e físicos. O estudo em questão foi mostrado por meio dos coeficientes de correlação dos parâmetros com cada fator climático. A correlação indica a força e a direção do relacionamento linear entre os fatores e o parâmetro e é um valor entre -1 e 1. Uma correlação próxima a zero indica que as duas variáveis não estão relacionadas. Uma correlação positiva indica que as duas variáveis são diretamente proporcionais, e a relação é forte quanto mais a correlação se aproxima de 1. Uma correlação negativa indica que as duas variáveis são inversamente proporcionais e que a relação também fica mais forte quanto mais próxima de -1 ela estiver. [20]

Nessa pesquisa foram utilizados os fatores climáticos temperatura do ar, velocidade do vento, precipitação e insolação, relacionando-os com os parâmetros químicos e físicos analisados. Essa correlação é mostrada pelo valor do coeficiente de correlação apresentado nas tabelas.

4.6.2 Análise de componentes principais (PCA)

PCA é uma técnica matemática usada para o tratamento de dados multivariados, quando se trabalha com uma matriz de dados, na qual transforma um conjunto original, comum grande número de variáveis interrelacionadas em outro conjunto, com um número reduzido de componentes, com a menor perda de informação possível. As novas variáveis geradas são chamadas de componentes principais, possuem independência estatística e não são correlacionadas. [21]

Esse método de análise multivariada foi empregado pelo fato de ser usado, corriqueiramente, quando as variáveis são originárias de processos em que diversas características devem ser estudadas ao mesmo tempo. Como é o caso dessa pesquisa, onde vários parâmetros foram analisados, para que fosse feito um estudo espacial e sazonal do ASA.

Essa técnica permite o agrupamento de parâmetros similares em um novo sistema de eixos ortogonais. Essas dispersões gráficas podem ser representadas em um espaço di ou tridimensional e são de fácil interpretação geométrica. A PCA gera dois gráficos principais: um de escores que representa as novas projeções das amostras no novo sistema de coordenadas e outro de pesos que são os coeficientes que medem a importância de cada variável original em cada componente principal.[21]

4.6.3 Análise estatística dos dados obtidos nas análises dos parâmetros.

A análise estatística apresentada nesse trabalho foi realizada com base nos resultados dos parâmetros obtidos nas análises das amostras coletadas, em três pontos do açude Santo Anastácio. Ela foi realizada utilizando-se uma análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, pelo programa *The R Project for Statistical Computing*.

O teste de Tukey permite estabelecer a diferença mínima significativa, ou seja, a menor diferença de médias de amostras que deve ser tomada como estatisticamente significativa, em determinado nível. Este teste é feito comparando-se a diferença absoluta (em módulo) entre as várias médias, a um valor (Δ), previamente calculado. Foram consideradas significativas ao nível de significância pré-determinado (α) aquelas diferenças entre médias cujo valor absoluto for maior que o Δ calculado.

A fórmula para o teste de Tukey é: $q_s = \frac{Y_A - Y_B}{SE}$, onde Y_A é a maior das médias que estão sendo comparadas, Y_B é a menor das médias e SE é o erro padrão dos dados.

Também foram elaborados gráficos do tipo Boxplot, para auxiliar no estudo da variação nos parâmetros químicos e físicos, nos três pontos de coleta e nas quatro datas. Quando duas ou mais caixas são colocadas lado a lado, compara-se a variabilidade entre elas, a mediana e assim por diante. O Boxplot é formado pelo primeiro e terceiro quartis e pela mediana. As hastes inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior ao limite inferior e do quartil superior até o maior valor não superior ao limite superior. Os

pontos fora destes limites são considerados valores discrepantes (outliers) e são denotados por (^o). Outro ponto importante é a diferença entre os quartis ($Q_3 - Q_1$), que é uma medida da variabilidade dos dados. Uma definição importante também é que assimetria negativa significa valores concentrados acima (em geral, a média é menor que a mediana) e assimetria positiva significa valores concentrados abaixo (em geral, a média é maior que a mediana).

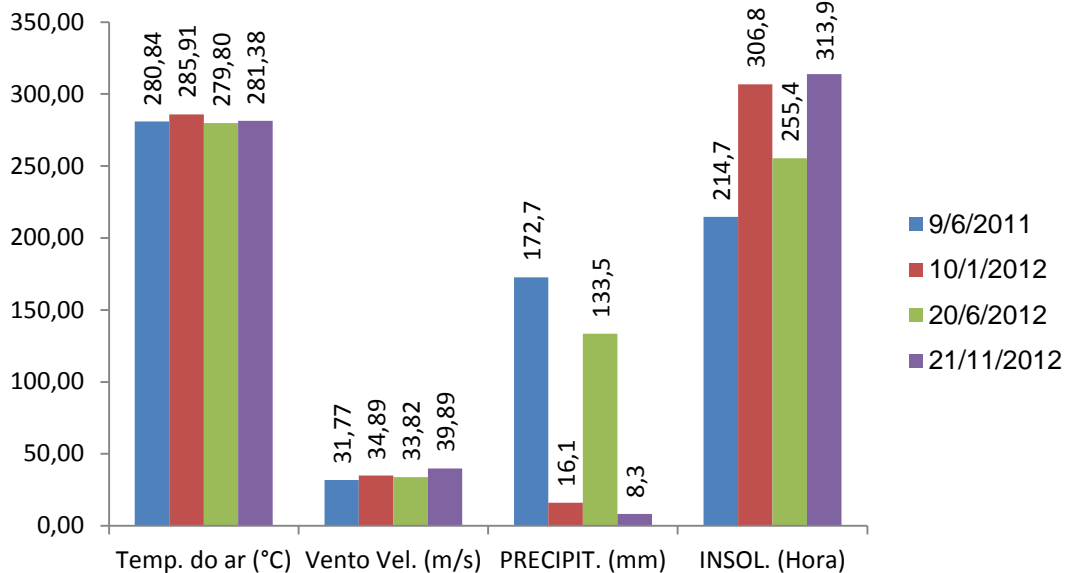
A análise das concentrações de cada parâmetro em cada configuração foi realizada a fim de identificar as diferenças entre os pontos e datas de coleta. [20]

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variação climática durante o período da pesquisa.

A análise da sazonalidade dos parâmetros estudados foi realizada com base nos dados fornecidos pela Estação Meteorológica do Campus do Pici (posto da FUNCEME). O gráfico da Figura 6 foi elaborado com base nos dados climáticos, registrados nos 30 dias que antecederam cada coleta. Ele mostra a variação dos fatores climáticos mais relevantes para essa pesquisa, são eles: temperatura do ar, velocidade do vento, precipitação e insolação.[22]

Figura 6 - Gráfico da variação dos parâmetros climáticos



Fonte: FUNCEME, 2011 / 2012

Baseando-se na variação climática da região, que por estar localizada no semiárido tem como aspecto mais marcante do seu clima a alternância de duas estações: a chuvosa e a seca, foi feito um estudo da variação sazonal da qualidade das águas do ASA.

5.2 Avaliação da poluição orgânica das águas do ASA

As amostras foram analisadas no mínimo em duplicata, com o coeficiente de variação, de todas as análises, sendo menor que 10%. Os parâmetros estudados para avaliar o teor de poluição orgânica, bem como sua variação espacial e sazonal, foram: Cloretos, DBO, DQO e OD.

5.2.1 Cloretos

A concentração de cloreto é normalmente elevada em água residuárias domésticas e é um indicativo de despejo sanitário, pois o cloreto de sódio é uma substância comum na dieta humana e passa pelo sistema digestivo sem ser absorvido, portanto caso o teor de cloreto seja elevado na amostra, suspeita-se de contaminação por efluentes domésticos.[23]

A variação do teor de cloreto analisado pode ser observada na Tabela 1.

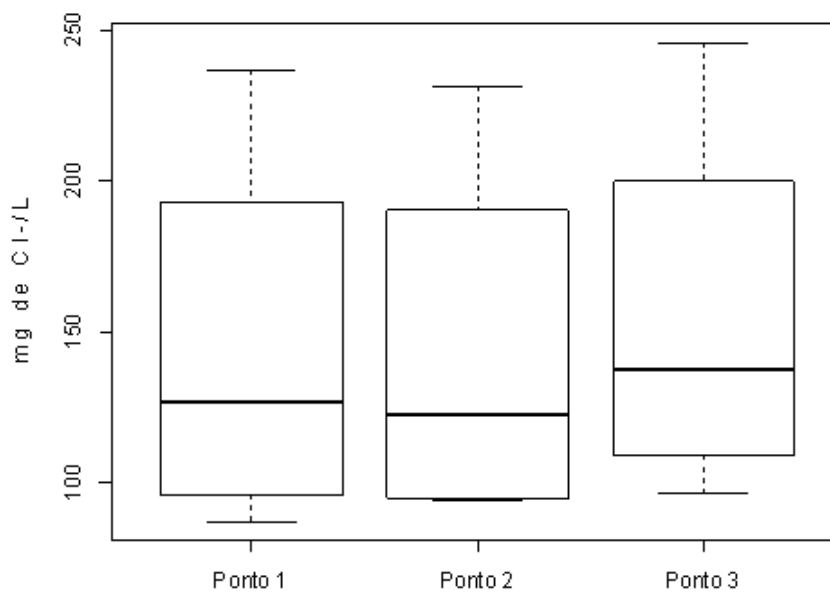
Tabela 1 - Variação espacial e temporal do cloreto.

Cloreto mg de Cl⁻/L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	104,0	149,5	87,4	236,5
2	94,7	149,5	95,6	231,3
3	96,8	154,3	121,3	245,7
Média	98,5	151,1	101,4	237,8
DP	4,86	2,77	17,70	7,29
CV (%)	4,93	1,83	17,45	3,07

Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 7 apresenta a variação de cloreto nos pontos de coleta.

Figura 7 - Boxplot do cloreto por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

As médias do teor de cloretos, por ponto de coleta, bem como sua análise estatística, são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o cloreto.

Grupo	Ponto Obs.	Média
a	1	144,35
a	3	144,16
a	2	142,77

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias dos pontos 1, 2 e 3 não se mostraram significativamente diferentes, durante toda a pesquisa, o que sugere que as águas do ASA são homogêneas para esse parâmetro.

A Tabela 3 exibe a correlação de cloreto com cada fator climático. Observando os valores abaixo, a velocidade do vento é o fator que exerce maior influência sobre o teor de cloretos, sendo ela uma correlação positiva onde quanto maior a velocidade de vento, maior se apresenta o teor de cloreto. Com o aumento da velocidade do vento e insolação há intensa evaporação das águas do ASA, fazendo com que aumentasse a concentração de sais de cloretos.

Tabela 3 – Correlação dos fatores climáticos com o cloreto

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,22	0,97	-0,84	0,82

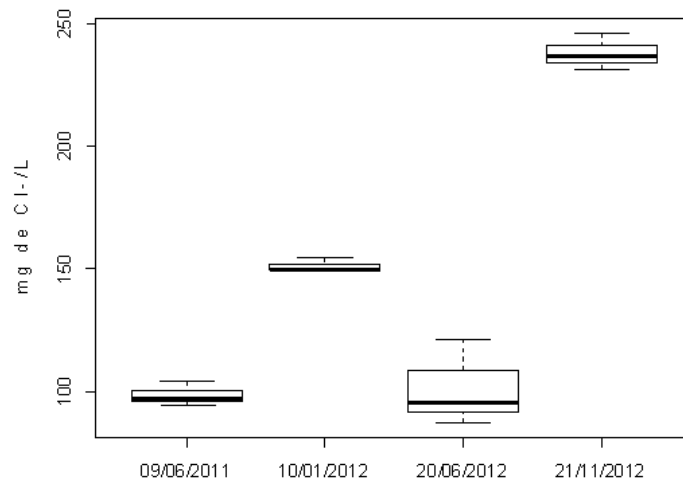
Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 8 apresenta a variação de cloreto nas datas das coletas, onde se observa a pequena variabilidade deste parâmetro nas datas de coleta, como as de junho de 2011, janeiro e novembro de 2012. Somente em julho de 2012 o ASA não mostrou uniformidade em relação aos cloretos, devido principalmente ao ponto 3 (%CV= 17,45).

Para o teor de cloreto os valores na coleta de 21/11/2012 apresentam-se maiores que as demais coletas, nessa data foram registrados os maiores índices na

velocidade do vento, fator climático que teve uma maior correlação com o teor de cloretos. Existe pouca variação em todas as coletas, com a coleta de 20/06/2012 apresentando a maior variação.

Figura 8 - Boxplot dos cloretos por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de cloretos nas datas de coleta são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o cloreto

Grupo	Data	Média
a	21/11/2012	237,83
b	10/01/2012	151,10
c	20/06/2012	101.43
c	09/06/2011	98,50

Fonte: Próprio autor, 2013

Observa-se que houve diferenças estatísticas sazonais entre o período chuvoso (com menor concentração de cloretos) e os de estiagem, com as coletas de novembro mostrando-se estatisticamente diferentes da de janeiro/12 e com concentração mais elevada, em função da menor precipitação ocorrida nesse período.

O uso das águas dos reservatórios são limitados, inicialmente, pela sua salinidade, pois esse é um parâmetro a ser usado para a classificação dos corpos

d'água, de acordo com a resolução CONAMA 357/05 e posterior avaliação da qualidade dos mesmos. Para o cálculo da salinidade, foi usada a análise de cloretos de acordo com a fórmula a seguir, levando-se em consideração a clorinidade (Cl^- ‰). [24]

$$\text{SALINIDADE}(\text{‰}) = 1,805 \cdot Cl^- \text{ ‰} \quad (5)$$

Constatou-se que as águas do ASA tiveram a salinidade determinada na maioria das coletas, inferior a 0,5 ‰ (Tabela 5). Logo, com base no Art. 2º da resolução CONAMA nº 357/05, ela foi classificada como **água doce**. Apenas na campanha do dia 21/11/2012 os resultados foram um pouco acima de 0,5 ‰, em razão da baixa precipitação nesse período.

Tabela 5 - Valores de salinidade calculados

Salinidade ‰				
Pontos	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	0,28	0,46	0,29	0,56
2	0,35	0,44	0,32	0,52
3	0,39	0,43	0,37	0,51
Média	0,34	0,44	0,33	0,53

Fonte: próprio autor, 2013

Resolução CONAMA nº 357/05

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

- I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;
- II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;
- III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

Apenas com o objetivo de diagnosticar a qualidade das águas do açude Santo Anastácio, ele foi enquadrado na classe 3 da resolução CONAMA Nº 357 de 2005, de acordo com seus usos preponderantes, que são: pesca amadora, recreação de contato secundário e dessedentação de animais. Sabe-se que ainda não existe uma classificação oficial para esse reservatório, feita pelos órgãos competentes.

Comparando os resultados das análises de cloretos com a referida resolução, pode ser concluído que os valores obtidos estão em conformidade com essa

legislação, que determina um valor máximo de 250 mg/L de cloretos, para água doce, classe 3.

5.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Nas águas naturais a DBO representa a demanda potencial de oxigênio dissolvido que poderá ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes, levando-os à morte. É, portanto, importante padrão de classificação das águas naturais.[23]

Esse parâmetro constituiu-se em uma importante análise, também, para o cálculo do índice de qualidade das águas do ASA. A variação da DBO evidenciada na Tabela 6 é um parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica.

Tabela 6 - Variação espacial e temporal da DBO

DBO mg de O ₂ /L				
Pontos	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	12,60	15,90	13,70	16,78
2	7,41	17,08	7,70	14,18
3	9,00	16,09	8,70	14,82
Média	9,67	16,36	10,03	15,26
DP	2,66	0,63	3,21	1,35
CV(%)	27,51	3,85	32,00	8,85

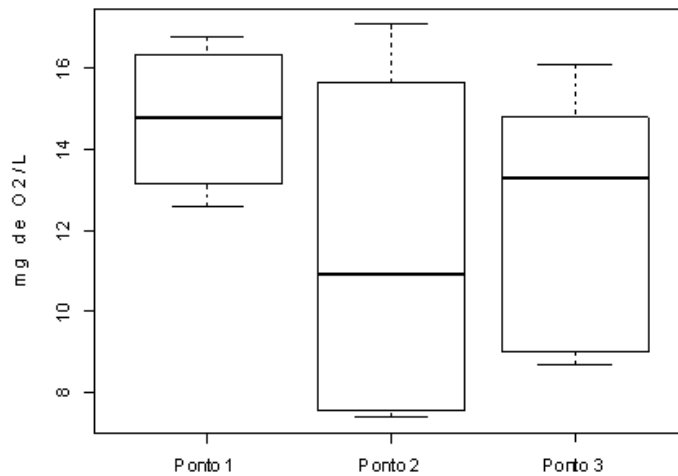
Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 9 apresenta a variação dos valores de DBO, analisados nas amostras dos três pontos de coleta.

A comparação estatística das médias dos valores de DBO para os três pontos de coleta do ASA pode ser vista na Tabela 7.

Não houve diferenças estatísticas significativas entre as médias, implicando que as águas do açude são uniformes quanto à DBO.

Figura 9 -Boxplot da DBO por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Tabela 7 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a DBO

Grupo	Ponto	Médias
a	1	14,75
a	3	12,15
a	2	11,59

Fonte: Próprio autor, 2013

Conforme pode-se observar na Tabela 7, a DBO do ponto 1 foi ligeiramente maior que nos pontos 2 e 3, na maioria das coletas. Esse fato pode ser creditado à proximidade dessa região do açude ao aporte de esgoto doméstico nesse corpo hídrico e principalmente, por ser uma região de água estagnada, onde há maior acúmulo de matéria orgânica.

A Tabela 8 apresenta os coeficientes de correlação da DBO com os fatores climáticos.

Tabela 8 - Correlação dos fatores climáticos com a DBO

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,79	0,69	-0,97	0,93

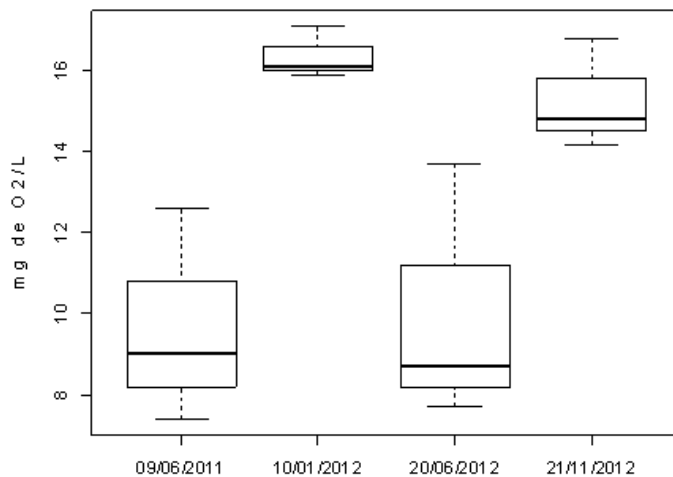
Fonte: Próprio autor, 2013

Observando os valores dos coeficientes de correlação da Tabela 8, a precipitação é o fator de maior correlação, sendo ela negativa, isto é, a precipitação pode ter provocado a diluição da matéria orgânica e conseqüentemente a diminuição

de sua DBO. Vale salientar também, a influência significativa da insolação, sendo ela uma correlação positiva onde quanto maior a insolação, maior se apresenta a DBO. Isto pode ser explicado pelo fato que a elevação da insolação pode ter aumentado a temperatura da água, elevando assim as taxas das reações nesse meio aquático, uma dessas reações é a oxidação da matéria orgânica presente no açude. O aumento da insolação pode também acarretar a elevação da concentração dessa matéria orgânica, pelas altas taxas de evaporação existentes nesse período.

A variação de DBO nas águas do ASA, nas datas de coletas, é exibida na Figura 10.

Figura 10 - Boxplot de DBO por datas de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2013

A Tabela 9 mostra a comparação das médias dos valores de DBO, nas quatro coletas.

Tabela 9 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a DBO

Grupo	Data	Médias
a	10/01/2012	16,36
ab	21/11/2012	15,26
b	20/06/2012	10,03
b	09/06/2011	09,67

Fonte: Próprio autor, 2013

Os valores da coleta de 10/01/2012 se diferenciaram estatisticamente das coletas dos dias 20/06/2012 e 09/06/201, que são significativamente iguais. Essas últimas datas correspondem aos períodos de maior precipitação (período chuvoso), esse resultado está em conformidade com o estudo das correlações da DBO com os fatores climáticos, que estabeleceu uma proporcionalidade inversa entre esses parâmetros, isso explica o fato que nessas datas, foram determinados os menores valores de DBO, mostrando, assim, que existe sazonalidade para esse parâmetro.

Com relação a conformidade com a resolução CONAMA 357/05, com base nos resultados das análises de DBO, foi concluído que em quase todos os pontos e coletas, os valores obtidos foram maiores que o estabelecido pela referida resolução, que é de 10 mg de O₂/L. Esse resultado na concentração desse parâmetro, aponta para níveis elevados de poluição por matéria orgânica oxidável biologicamente, oriunda, principalmente, do despejo de efluentes domésticos nas águas do ASA.

5.2.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O teste de Demanda Química de Oxigênio (DQO) baseia-se no fato de que todos os compostos orgânicos, com poucas exceções, podem ser oxidados pela ação de um agente oxidante forte em meio ácido.

A Tabela 10 mostra os valores de DQO determinados durante o período estudado.

Tabela 10 - Variação espacial e temporal de DQO

DQO mg de O₂/L				
Pontos	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	60,52	79,50	68,21	90,47
2	47,76	76,86	53,36	60,78
3	49,58	75,62	60,78	97,89
Média	52,62	77,33	60,78	83,05
DP	6,90	1,98	7,43	19,64
CV (%)	13,11	2,56	12,22	23,65

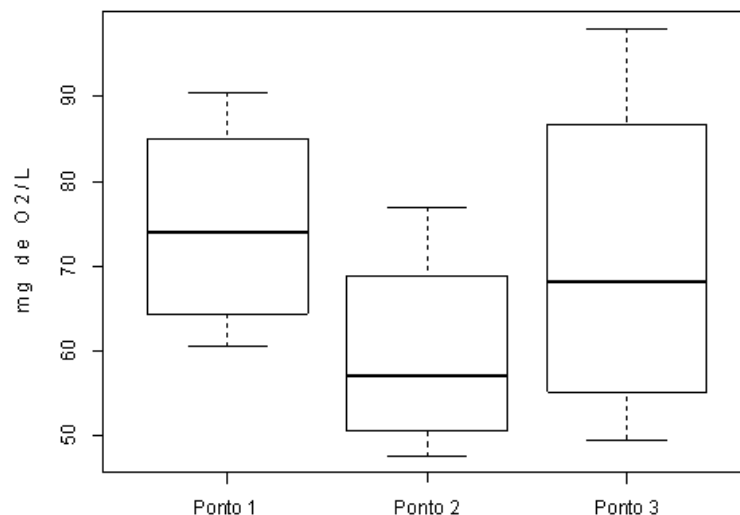
Fonte: Próprio autor, 2013

Uma das limitações dessa análise, é o fato de que o teste não diferencia matéria orgânica biodegradável de matéria orgânica não biodegradável, sendo a primeira determinada pelo teste de DBO. A vantagem é o tempo de teste, realizado em poucas horas, enquanto que o teste de DBO requer no mínimo 5 dias (período de incubação). [23]

A variação dos valores de DQO determinados nas amostras coletadas nos três pontos, foram expostos na Figura 11.

Comparando os três pontos, como pode ser avaliado na Figura 11, a DQO alcançou um valor um pouco mais elevado no ponto 1, pelo mesmo motivo já mencionado, no item relatado sobre a DBO.

Figura 11- Boxplot da DQO por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 11, observa-se a correlação de DQO com cada fator climático.

Tabela 11- Correlação dos fatores climáticos com a DQO

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,79	0,70	-0,97	0,93

Fonte: Próprio autor, 2013

Com base nos coeficientes acima, a precipitação e a insolação, semelhante à DBO, também são os fatores que exercem maior influência sobre o DQO, sendo da

mesma forma, uma correlação negativa e positiva, respectivamente. A explicação é a mesma explanada para a DBO.

A Tabela 12 mostra a comparação das médias dos valores de DQO dos pontos 1, 2 e 3.

Tabela 12 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a DQO

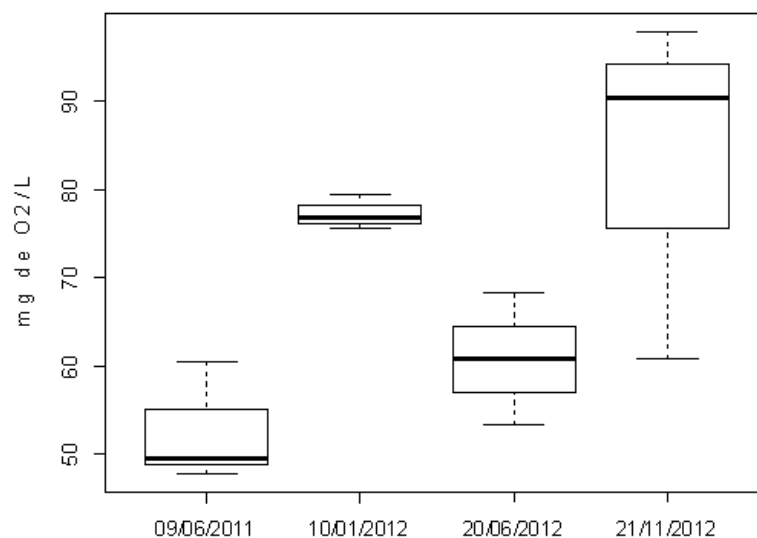
Grupo	Ponto	Médias
a	1	74,68
a	3	70,97
a	2	59,69

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todos os pontos são estatisticamente iguais. Isso significa que a DQO não teve variação estatística significativa, levando em consideração os três pontos de coleta.

A variação da DQO nas quatro coletas é exibida na Figura 12.

Figura 12 -Boxplot de DQO por datas de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2013

Para a DQO os valores na coleta de 21/11/2012 apresentaram a maior variação e também a maior média, pois nesse período foram registrados os mais elevados índices de insolação, fator climático que apresentou influência significativa sobre esse parâmetro.

A Tabela 13 mostra as médias dos valores de DQO por data de coleta.

Tabela 13 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a DQO

Grupo	Data	Média
a	21/11/2012	83,05
ab	10/01/2012	77,33
ab	20/06/2012	60,78
b	09/06/2011	52,62

Fonte: Próprio autor, 2013

As coletas dos dias 21/11/2012 e 09/06/2011 foram as que apresentaram a maior diferença estatística significativa com relação à variação temporal de DQO. Elas correspondem ao início do período de estiagem e fim do período chuvoso, respectivamente. Vale salientar que na coleta de 21/11/2012 foram registrados os menores valores na precipitação, o que deve ter favorecido o aumento da concentração de matéria orgânica no açude. Esse raciocínio também pode se estender para a coleta do dia 09/06/2011, que apresentou maior precipitação e menor média de resultados da análise de DQO.

5.2.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

A variação de OD pode ser vista na Tabela 14.

Tabela 14 - Variação espacial e temporal do oxigênio dissolvido

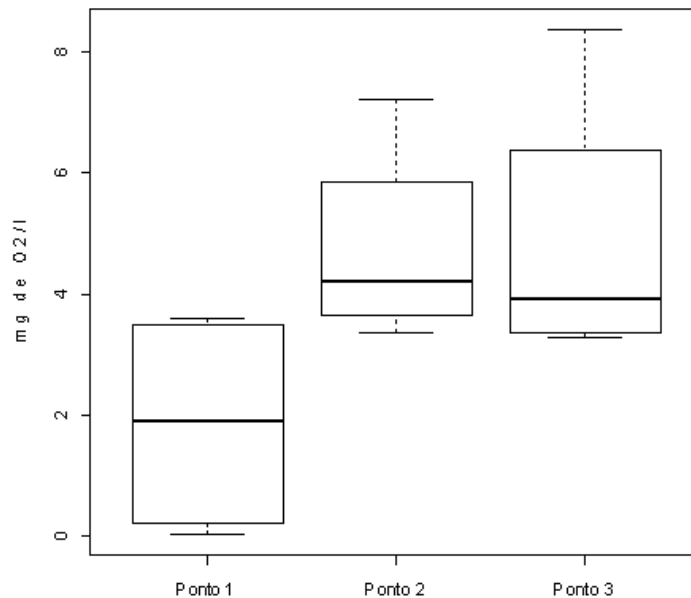
OD mg de O₂ /L				
Pontos	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	0,02	3,40	3,60	0,40
2	3,90	4,50	3,37	7,21
3	3,28	4,40	3,44	8,37
Média	2,40	4,10	3,47	5,33
DP	2,08	0,61	0,12	4,30
CV (%)	86,66	14,88	3,46	80,68

Fonte: Próprio autor, 2013

A medida de OD foi de grande relevância, pois permitiu avaliar o nível de poluição por matéria orgânica no ASA e o índice de qualidade das suas águas (IQA).

A variação de OD nos três pontos de coleta pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 - Boxplot de OD por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Os baixos valores de OD observados na maioria das coletas (principalmente no ponto 1), são um indicio de despejo doméstico no açude e com essas informações foi possível detectar os impactos ambientais que acometem o mesmo. O oxigênio dissolvido deve ter se reduzido pelo fato do ASA receber grandes quantidades de substâncias orgânicas, esses resíduos despejados são decompostos por micro-organismos que se utilizam do oxigênio na respiração. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de micro-organismos decompositores e, conseqüentemente, maior o consumo de gás oxigênio.[23]

Tabela 15 - Comparação de médias nos pontos pelo teste de Tukey para o OD

Grupo	Ponto	Médias
a	3	4,87
a	2	4,75
b	1	1,85

Fonte: Próprio autor, 2013

Como pode ser observado na Tabela 15, os valores de OD da região do ponto 1, foram detectados como os mais baixos, na maioria das coletas. Esse fato se deve, principalmente, à baixa movimentação das águas nessa região do reservatório, isto é, a falta de aeração nesse local, pois se trata de uma água praticamente estagnada. Os valores do ponto 1 apresentam-se com sua média estatisticamente diferente das dos outros pontos (pelo motivo já explicado anteriormente) com significância de 5%. Os pontos 2 e 3 apresentam valores e variação bem aproximados, isto é, suas médias não diferem significativamente.

Na Tabela 16 tem-se os coeficientes de correlação do OD (gráfico de dispersão em anexo) com cada fator climático. Observando os valores, conclui-se que a velocidade do vento é o fator que exerce maior influência sobre o OD, sendo ela uma correlação positiva, quanto maior a velocidade do vento, maior o valor de OD. Pode-se salientar que precipitação e insolação também tiveram elevada correlação com OD. No caso da insolação, o fato pode ser explicado pelas altas taxas de fotossíntese e produção de gás oxigênio.

Tabela 16 - *Correlação dos fatores climáticos com o OD*

Temperatura do Ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,26	0,97	-0,91	0,94

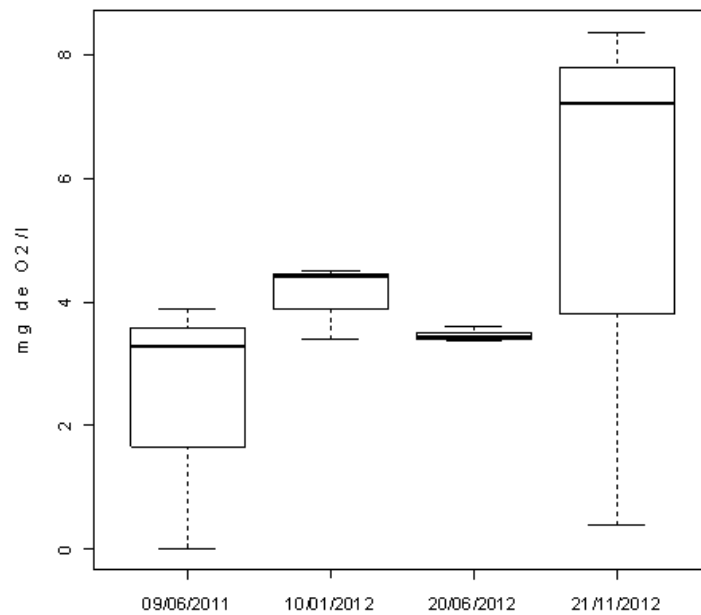
Fonte: Próprio autor, 2013

Comparando os resultados da Tabela 17 com a Figura 6, pode-se concluir que, as menores determinações de OD foram registradas nas coletas de 09/06/11 e 20/06/12 e estas correspondem aos menores valores de velocidade do vento, também medidos nessas datas. Essa constatação ratifica a análise de correlação de OD com os parâmetros climáticos, que foi definido como sendo diretamente proporcional à velocidade do vento. A mesma característica foi concluída por Vidal [27] no seu estudo sobre o balanço de macronutrientes no açude Gavião, Pacutuba-CE, em 2011. A autora desenvolveu uma pesquisa que tinha como objetivo principal a caracterização das variáveis limnológicas desse açude. Na análise de OD, na superfície desse reservatório, em vários pontos e em várias campanhas, esse parâmetro teve a mesma variação temporal, em comparação ao ASA, fato que a autora também creditou à ação climática da velocidade do vento.

Esse resultado pode ser atribuído ao fato que, o aumento da velocidade dos ventos propicia a mistura e aoxigenação da coluna d'água e assim um maior teor de OD. Esse fenômeno deve ser conferido à pouca profundidade do açude, isto facilita a aeração desse corpo d'água pelo vento.

Na Figura 14 observa-se a variação do OD por coleta.

Figura 14 - Boxplot do OD por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

Para esse parâmetro, os valores nas coletas de 21/11/2012 apresentaram maior média, pois nessa data foram verificados também, os mais elevados valores na velocidade do vento.

Tabela 17 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para OD.

Grupo	Data	Médias
a	21/11/2012	5,33
ab	10/01/2012	4,10
ab	20/06/2012	3,47
b	09/06/2011	2,40

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias exibidas na Tabela 17 mostram que as coletas dos dias 10/01/2012 e 20/06/2012 foram estatisticamente iguais ao nível de significância de 5%. Vale salientar que as coletas dos dias 09/06/2011 e 21/11/2012, que apresentam o menor e o maior valor, respectivamente, são diferentes do ponto de vista estatístico, devido à menor e mais intensa precipitação. Comparando os resultados desse parâmetro com a Resolução CONAMA 357/05, foi verificado que esse foi um dos parâmetros mais críticos, com quase todas as coletas, em vários pontos, apresentando valores abaixo do padrão determinado pela resolução acima citada (4 mg O₂/L). Esse fenômeno, observado principalmente na região do ponto 1 (localizado na margem próxima à comunidade ribeirinha), é uma consequência imediata das ações antrópicas no ASA. No referido ponto, foi registrado em uma das coletas, uma concentração de oxigênio dissolvido quase nula.

5.3 Avaliação da qualidade das águas do ASA, quanto ao nível de poluição bacteriana

5.3.1 Coliformes Termotolerantes

Para avaliar o nível de poluição bacteriana foi realizado o teste de coliforme termotolerante. Em todas as amostras o resultado do teste foi de no mínimo 9.800 e máximo de 25.000 NMP/100 mL. Portanto, esse resultado está fora dos padrões determinados pela Resolução CONAMA 357/05 (1000 NMP / 100 mL) para água doce classe 3, inviabilizando as águas do ASA para vários usos aos quais ele se destina, como pesca e dessedentação de animais. Para o uso de recreação de contato primário, devem ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos pela Resolução CONAMA 274 de 2000 [25], que determina que águas com quantidades de coliformes fecais acima de 1000 NMP / 100 mL devem ser consideradas impróprias para a balneabilidade.

O elevado índice de bactérias coliformes nas águas do açude significa que esse corpo d'água recebeu material fecal, originário da descarga de esgotos domésticos. Sabe-se que as fezes das pessoas doentes transportam, para as águas ou para o solo, os micro-organismos causadores de doenças. Assim, se a água recebe esse tipo de poluição, ela certamente pode estar recebendo micro-

organismos patogênicos. Por isso, a presença de coliformes na água indica risco de contaminação por bactérias ou vírus e infecção por meio de parasitas e conseqüentemente aparecimento de disenterias, cólera ou doenças de pele. Esse resultado é preocupante, já que o ASA é constantemente usado pela população ribeirinha para a pesca artesanal, lazer e dessedentação de animais.

Com características semelhantes ao ASA, pode ser citado o reservatório Pereira de Miranda, localizado no município de Pentecoste, usado também para balneabilidade e para a pesca. Segundo Lemos [26] em estudo realizado em 2011, sobre a qualidade das águas desse reservatório, ele foi classificado como impróprio para os usos ao quais ele se destina. Foram registrados valores de coliformes que alcançaram uma quantidade máxima de 1600 NMP/100 mL.

5.4 Avaliação do teor de nutrientes e clorofila a

Para avaliar a poluição do ASA por nutrientes foram realizadas as análises de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, nitrogênio total e ortofosfato. E mais especificamente, para determinar o estágio do processo de eutrofização desse reservatório, foram feitas as análises de fósforo total e clorofila a.

5.4.1 Nitrogênio Amoniacal

A amônia e o íon amônio estão presentes naturalmente em águas superficiais poluídas, como é o caso do açude Santo Anastácio. Sua presença deve-se, principalmente, à contaminação causada pela ação de bactérias que reduzem o nitrato e pela decomposição de matéria orgânica nitrogenada, como proteína e ureia que são oriundas do efluente doméstico despejado no açude. [23]

Observa-se na Tabela 18, que nos períodos de estiagem (10/01/2012 e 21/11/2012) foram registradas as menores médias do teor de nitrogênio amoniacal. Acredita-se que, o aumento da temperatura da água, pelo elevados índices de insolação nesses períodos, pode ter ocasionado o desprendimento do gás NH_3 do meio aquoso.

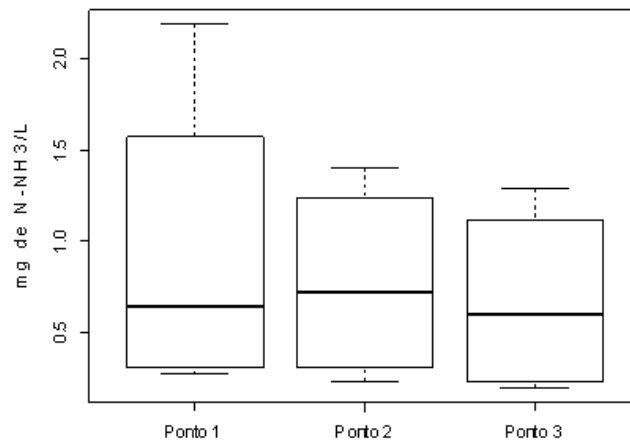
A Tabela 18, mostra a variação do nitrogênio amoniacal nos pontos 1, 2 e 3, ao longo do período de coleta.

Tabela 18 - Variação espacial e temporal do nitrogênio amoniacal

Nitrogênio Amoniacal mg de N-NH₃/L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	2,19	0,27	0,96	0,34
2	1,41	0,23	1,07	0,38
3	1,29	0,26	0,94	0,19
Média	1,63	0,25	0,99	0,30
DP	0,49	0,02	0,07	0,09
CV (%)	30,06	8,00	7,07	30,00

Fonte: Próprio autor, 2013

Figura 15 - Boxplot de Nitrogênio Amoniacal por pontos observados.



Fonte: Próprio autor, 2013

Tabela 19 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o nitrogênio amoniacal.

Grupo	Ponto	Média
a	1	0,94
a	2	0,77
a	3	0,67

Fonte: Próprio autor, 2013

Embora o ponto 1 tenha características que comprometam a qualidade das águas do açude com relação ao teor de nitrogênio amoniacal, as médias de todos os pontos não diferem significativamente, ou seja, o teor de amônia se mostrou homogêneo em toda a extensão do ASA.

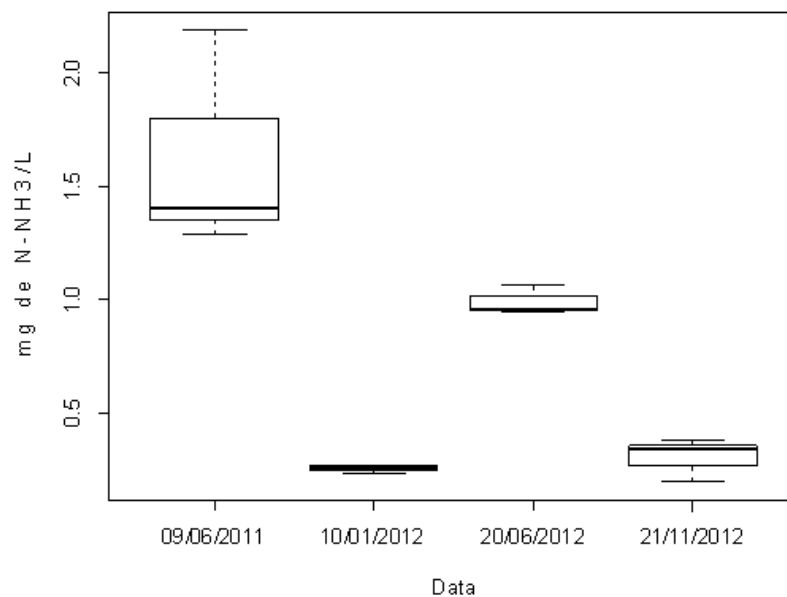
Na Tabela 20, tem-se a correlação de nitrogênio amoniacal com cada fator climático. Observando os seus valores, a insolação é o fator que exerce maior influência sobre o teor de nitrogênio amoniacal, sendo ela uma correlação negativa: quanto maior a insolação, menores se apresentam os valores de nitrogênio amoniacal. Em seguida, tem-se a precipitação, correlacionada positivamente.

Tabela 20 - Correlação dos fatores climáticos com o nitrogênio amoniacal.

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
-0,61	-0,78	0,97	-0,99

Fonte: Próprio autor, 2013

Figura 16 - Boxplot de Nitrogênio Amoniacal por datas de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2013

Pela Figura 16, conclui-se que os menores valores de nitrogênio amoniacal observados nas coletas realizadas no período de estiagem, ou seja, com maior

insolação (21/11/2012 e 10/01/2012), estão em conformidade com o estudo das correlações entre os parâmetros.

Tabela 21 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o nitrogênio amoniacal

Grupo	Data	Médias
a	09/06/2011	1,63
a	20/06/2012	0,99
b	21/11/2012	0,30
b	10/01/2012	0,25

Fonte: Próprio autor, 2013

Observa-se nitidamente a sazonalidade com relação ao parâmetro nitrogênio amoniacal. As coletas realizadas no período de chuva (representadas pela letra a) são estatisticamente iguais. O mesmo acontece com as coletas realizadas no período de estiagem (representadas pela letra b). Esse comportamento confirma a relação de proporcionalidade inversa entre o teor de nitrogênio amoniacal e a insolação.

Com relação à Resolução CONAMA 357/05 e com base no valor de pH, que na maioria das coletas foi menor que 7,5, o valor do teor de nitrogênio amoniacal determinado nas águas do ASA está dentro do padrão estabelecido, que é de, no máximo, 13,3 mg/L N.

5.4.2 Nitrito

O nitrito é um estado intermediário de oxidação do nitrogênio, na oxidação de amônia a nitrato, bem como na redução do mesmo.

A fonte de nitrito no ASA deve-se a decomposição de compostos orgânicos nitrogenados, presentes no esgoto doméstico. A análise foi feita logo após a coleta com o objetivo de prevenir a oxidação bacteriana, de nitrito a nitrato. [23]

Na Tabela 22, são exibidos os valores de nitrito nos três pontos e ao longo do período de coleta.

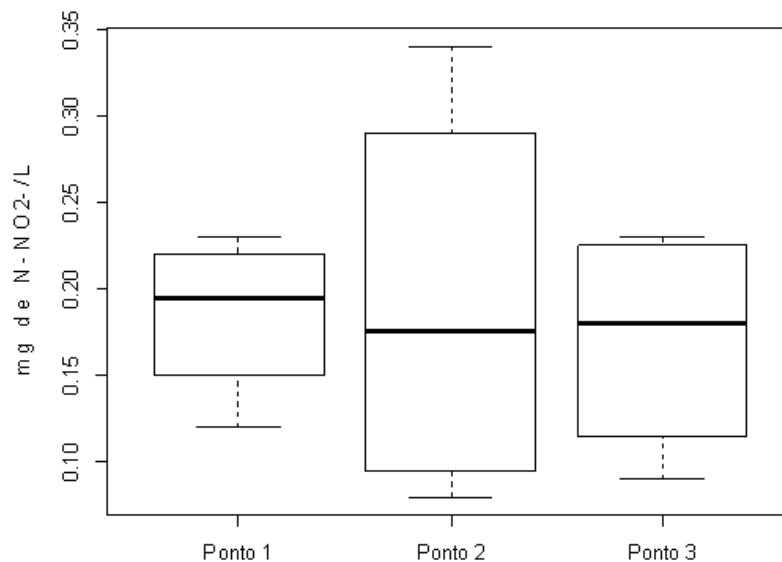
Tabela 22 - Variação espacial e temporal do nitrito

Nitrito mg de N-NO ² /L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	0,12	0,21	0,18	0,23
2	0,11	0,08	0,34	0,24
3	0,14	0,09	0,23	0,22
Média	0,12	0,13	0,25	0,23
DP	0,02	0,07	0,08	0,01
CV (%)	16,66	9,21	32,00	4,35

Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 17 exibe a variação do teor de nitrito nos três pontos de coleta.

Figura 17 - Boxplot de nitrito por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Para o nitrito, os valores nos pontos 1 e 3 apresentam variação semelhante, com o ponto 2 apresentando maior variação, com pequena assimetria negativa.

Tabela 23 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o nitrito

Grupo	Ponto	Média
a	2	0,19
a	1	0,18
a	3	0,17

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todos os pontos não diferem significativamente, ou seja, o teor de nitrito permaneceu homogêneo, em toda a extensão do ASA.

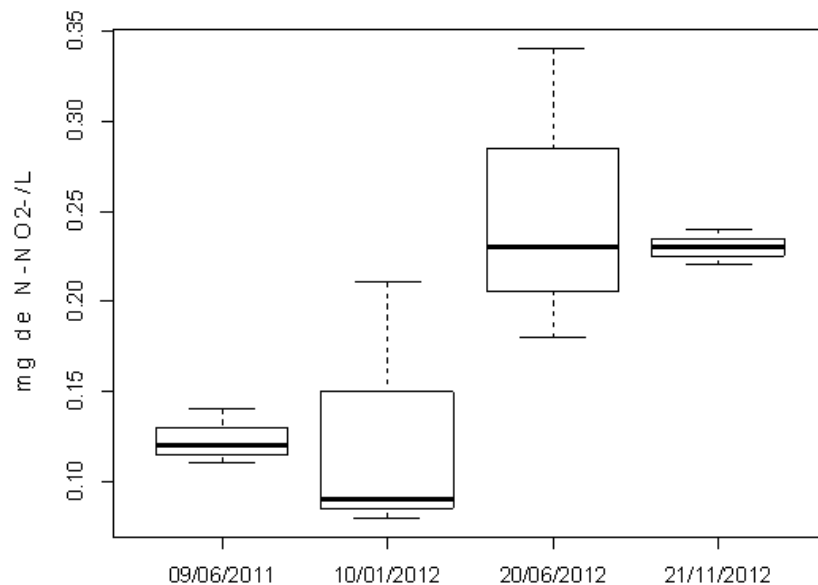
Na Tabela 24, tem-se os coeficientes de correlação de nitrito com cada fator climático. Observa-se que todos foram muito baixos. Isso pode ser explicado pelo fato dessa espécie química ser muito instável, por ser intermediária entre a amônia e o nitrato.

Tabela 24 - Correlação dos fatores climáticos com o nitrito

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
-0,50	0,52	-0,13	0,28

Fonte: Próprio autor, 2013

Figura 18 - Boxplot de nitrito por datas de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 25 observa-se que, embora as médias de nitrito se apresentem maiores nas coletas de 20/06/2012 e 21/11/2012, os valores de todas as datas não diferem significativamente entre si, isto é, estatisticamente, o teor de nitrito manteve uma uniformidade durante todo o período da presente pesquisa.

Tabela 25 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o nitrito.

Grupo	Data	Média
a	20/06/2012	0,25
a	21/11/2012	0,23
a	10/01/2012	0,13
a	09/06/2011	0,12

Fonte: Próprio autor, 2013

Em relação à resolução CONAMA 357/05, os valores de nitrito determinados nessa pesquisa, estão dentro dos padrões estabelecidos para água doce, classe 3, que é de no máximo 1,0 mg/L.

Segundo Oliveira [27], em seus estudos sobre a caracterização limnológica das lagoas do Sal, de Pirapueira e de Dentro, localizadas na planície costeira do município de Beberibe-CE, o teor de nitrito nas águas desses corpos hídricos, semelhante ao ASA, também se mostrou muito baixo, em relação ao que é previsto na literatura para águas superficiais naturais, que é de 0,01 mg/L de NO_2^- .

5.4.3 Nitrato

Na Tabela 26, pode-se observar pequenas quantidades de nitrato, o que ocorre em poluição antiga, por esgotos domésticos. O nitrato, que geralmente é encontrado em águas residuárias domésticas, pode variar de 0,4 a 8 mg/L. Os resultados encontrados nessa pesquisa estão dentro dessa faixa. [23]

A fonte de poluição de nitrato no ASA ocorre pela decomposição de compostos orgânicos nitrogenados, provenientes do esgoto doméstico que é despejado nele. Sendo as proteínas, ureia e amônia, presentes nas excreções humanas, fontes potenciais de nitrato nesse corpo hídrico.

No ponto 1, onde foram medidos os menores índices de oxigênio dissolvido, na maioria das coletas também foram determinados os menores teores de nitrato, de acordo com estudos anteriores, essa constatação é coerente, já que essa espécie química é a forma mais oxidada do nitrogênio.

A presença de nitrato no açude pode estimular o crescimento de plantas aquáticas e algas, fato que pode ser comprovado pela proliferação de aguapés às margens do ASA. O nitrato, por ser um nutriente essencial para muitos organismos autótrofos fotossintetizantes, é um dos agentes eutrofizantes desse reservatório.

Tabela 26 - Variação espacial e temporal do nitrato

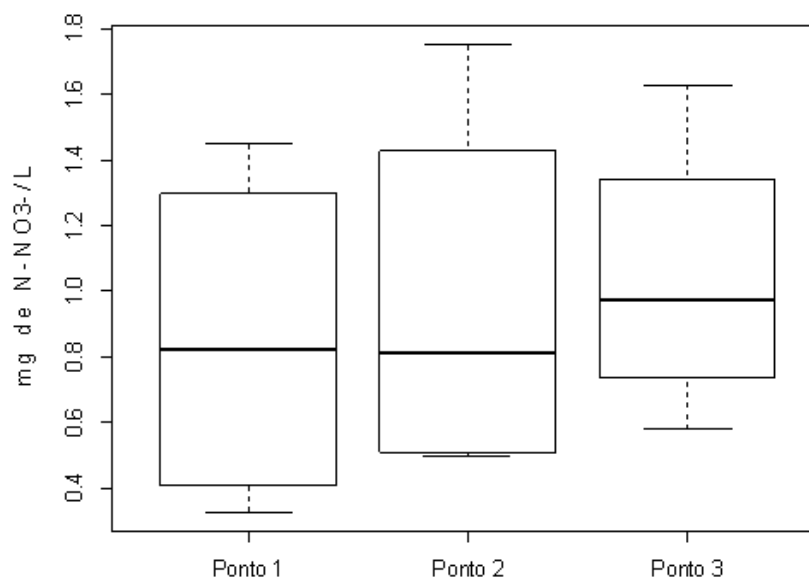
Nitrato mg de N- NO₃⁻ /L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	0,49	1,45	0,33	1,15
2	0,50	1,75	0,52	1,11
3	0,58	1,63	0,89	1,06
Média	0,52	1,61	0,58	1,11
DP	0,05	0,15	0,29	0,05
CV (%)	9,62	9,32	50,00	4,50

Fonte: Próprio autor, 2013

A variabilidade espacial do nitrato foi semelhante ao nitrito.

A variação dos valores de nitrato nos três pontos de coleta, estão expostos na Figura 19.

Figura 19 - Boxplot de nitrato por pontos observados.



Fonte: Próprio autor, 2013

Para o nitrato, os valores dos três pontos apresentam uma variação semelhante, com os pontos 2 e 3 apresentando uma maior assimetria negativa.

Os valores dos três pontos apresentados na Tabela 27, mostram uma variação semelhante, com as médias de todos os pontos não se diferenciando estatisticamente. Embora o ponto 3 apresente maior média, fato explicado pela evolução da reação de oxidação da amônia à nitrato, nas águas do açude, o teor de nitrato se comportou uniforme em toda a sua extensão.

Tabela 27 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o nitrato.

Grupo	Ponto	Médias
a	3	1,040
a	2	0,970
a	1	0,855

Fonte: Próprio autor, 2013

A correlação de nitrato com cada fator climático está apresentada na Tabela 28.

Tabela 28 - Correlação dos fatores climáticos com o nitrato

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,92	0,48	-0,89	0,85

Fonte: Próprio autor, 2013

Observando os coeficientes de correlação da Tabela 28, pode-se inferir que a temperatura do ar, juntamente com a insolação e a precipitação, são os fatores que exercem maior influência sobre os teores de nitrato; com as correlações com a temperatura do ar e com a precipitação sendo positivas, isto é, quanto mais elevados forem esses dois parâmetros, mais elevado se apresentam os valores de nitrato. Uma explicação considerável é que a temperatura do ar e a insolação podem ter influenciado diretamente a temperatura das águas do ASA e esse é um dos parâmetros importantes na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, pois tem grande influência na cinética dos processos físicos, químicos e biológicos. Isso pode ter acelerado a reação de oxidação de amônia a nitrato.

As médias dos resultados das coletas de 20/06/2012 e 09/06/2011 (período chuvoso) se mostraram estatisticamente iguais, como pode ser visto na Tabela 29. Essas duas coletas se apresentaram diferentes, nos períodos de estiagem, demonstrando que este parâmetro tem comportamento sazonal.

A análise estatística, com base na comparação das médias de nitrato, por coleta, pode ser visto na Tabela 29.

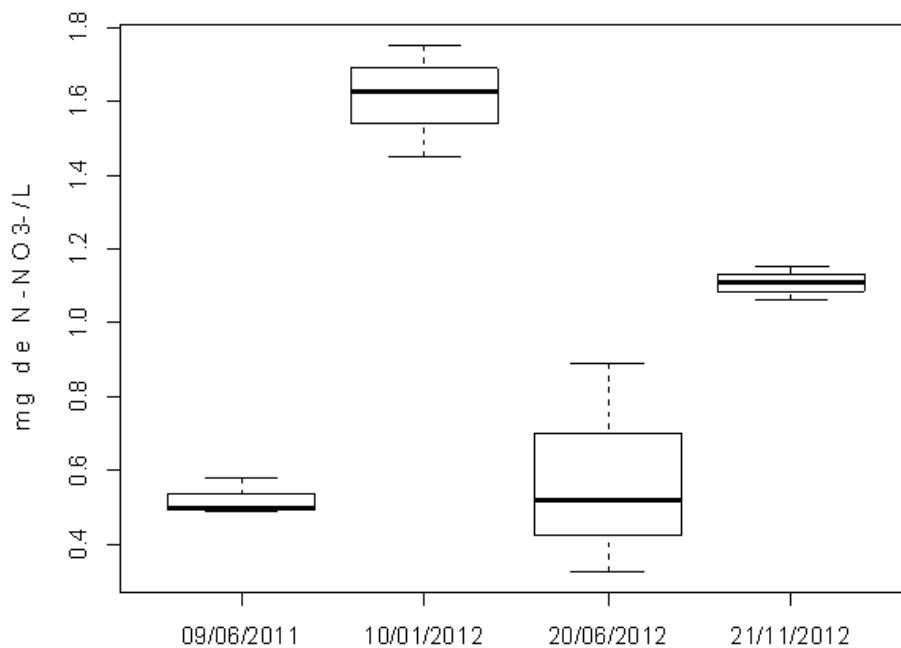
Tabela 29 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o nitrato.

Grupo	Data	Médias
a	10/01/2012	1,61
b	21/11/2012	1,11
c	20/06/2012	0,58
c	09/06/2011	0,52

Fonte: Próprio autor, 2013

Na Figura 20 foram exibidas as variações de nitrato, nas coletas realizadas durante a presente pesquisa.

Figura 20 - Boxplot de nitrato por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

Verificou-se um aumento da quantidade de nitrato no período de estiagem (10/01/2012 e 21/11/2012) este fato pode ser explicado pela elevação da temperatura do ar e insolação nesse período (fator climático que está correlacionado positivamente com esse parâmetro químico), que pode ter elevado as taxas das reações de oxidação de amônia a nitrato. Comportamento semelhante foi verificado por Pacheco [28], no açude Acarape do Meio, região metropolitana de Fortaleza-CE. Nesse reservatório, o nitrato também foi a forma de nitrogênio predominante no período seco.

Em relação à Resolução CONAMA 357/05, que estabelece o valor padrão de nitrato em 10 mg/L, para água doce classe 3, verifica-se que durante o presente estudo, esta variável química está em conformidade com a referida resolução. Resultado também observado em estudos feitos por Braga [29] sobre a qualidade das águas do açude Gavião - CE, com relação às análises de nutrientes e sua contribuição para a eutrofização desse reservatório. Segundo a autora, em pesquisa realizada nos meses de janeiro a dezembro de 2005, o teor de nitrato se manteve dentro dos limites estabelecidos. Entretanto, mesmo com esse resultado, a autora não assegurou a ausência da degradação da qualidade das águas do Gavião, que teve um maior teor de nitrato durante o período seco, fato creditado ao aumento da velocidade dos ventos nesse período, que favoreceu a oxidação de outras formas de nitrogênio a nitrato.

5.4.4 Nitrogênio total

O nitrogênio está presente na natureza na forma orgânica e inorgânica, entre os orgânicos pode-se citar as aminas, amidas, aminoácidos, peptídeos, proteínas, ácido nucléico e uréia. As espécies inorgânicas são amônio, nitrato e nitrito além do nitrogênio gasoso.

Quando o açude recebe esgoto doméstico o balanço natural do nitrogênio é perturbado pelo excesso dessa espécie, reduzindo assim a quantidade de oxigênio disponível para os seres aquáticos, estimulando a proliferação de algas e acentuando o processo de eutrofização. [23]

A Tabela 30 mostra a variação do nitrogênio total analisados durante a presente pesquisa.

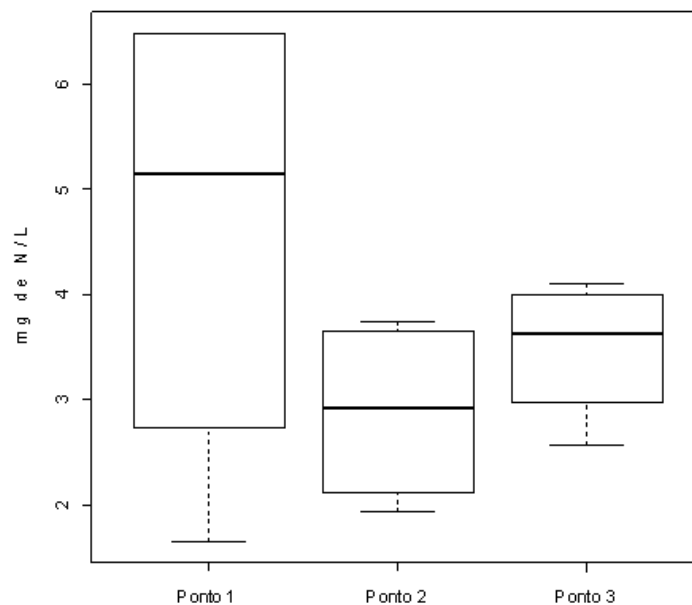
Tabela 30 - Variação espacial e temporal do nitrogênio total

Nitrogênio total mg de N/L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	6,49	3,80	6,49	1,65
2	1,93	3,75	3,53	2,31
3	3,39	4,11	3,88	2,57
Média	3,94	3,89	4,63	2,18
DP	2,33	0,19	1,62	0,47
CV (%)	59,14	4,88	34,99	21,56

Fonte: Próprio autor, 2013

A variação do teor de nitrogênio total, nos três pontos de coleta, é mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Boxplot de nitrogênio total nos pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

A análise estatística, de acordo com a comparação das médias da quantidade de nitrogênio total, nos três pontos, é apresentada na Tabela 31.

Tabela 31 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o nitrogênio total.

Grupo	Ponto	Média
a	1	4,61
a	3	3,49
a	2	2,88

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todos os pontos não diferem significativamente, ou seja, essa variável manteve-se homogênea nos três pontos de coleta do açude

Na Tabela 32, tem-se os valores do coeficiente de correlação de nitrogênio total com cada fator climático. Observando os coeficientes de correlação da Tabela 32, a velocidade do vento é o fator que exerce maior influência sobre os valores de nitrogênio total, sendo essa, uma correlação negativa onde quanto maior a velocidade do vento, menor se apresenta os valores de nitrogênio total.

Tabela 32 - Correlação dos fatores climáticos com o nitrogênio total.

Temperatura do ar	Velocidade do vento.	Precipitação	Insolação
-0,07	-0,86	0,65	-0,59

Fonte: Próprio autor, 2013

A Tabela 33 exibe a análise estatística das médias do teor de nitrogênio total, nas coletas feitas durante a presente pesquisa.

Tabela 33 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para o nitrogênio total

Grupo	Data	Média
a	20/06/2012	4,63
a	09/06/2011	3,94
a	10/01/2012	3,89
a	21/11/2012	2,18

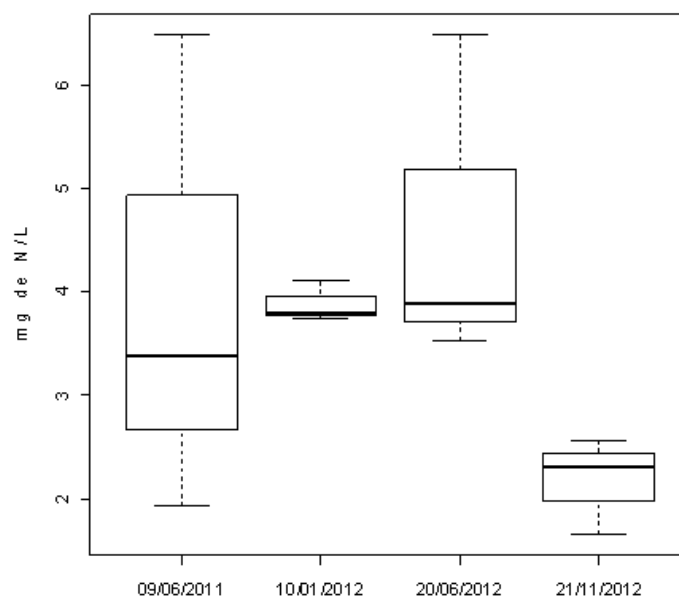
Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todas as datas não mostraram diferenças estatísticas, isto é, a quantidade de nitrogênio total se conservou uniforme durante todo o período de estudo realizado nessa pesquisa.

A variação do nitrogênio total, no ASA, em todas as coletas realizadas no decorrer desse estudo, é apresentada na Figura 22.

Para o nitrogênio total os valores na coleta de 09/06/2011 e 20/06/2012 apresentam maiores variações, pois nesse período foram registrados os menores valores na velocidade do vento, fator que é inversamente proporcional a esse parâmetro químico.

Figura 22 - Boxplot de Nitrogênio total por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

5.4.5 Fósforo total e ortofosfato

Como pode ser visto na Tabela 34, na maioria das análises, foi determinado um teor de fósforo total muito elevado, se comparado com a Resolução CONAMA 357/05, que estabelece um limite de 0,075 mg/L P. Esse resultado comprova a poluição do ASA por esgotos domésticos, compostos por detritos orgânicos e detergentes. O fósforo é o principal nutriente causador da eutrofização desse corpo hídrico, por esse motivo a concentração desse parâmetro, foi usada no cálculo do índice de eutrofização (IET) do ASA.

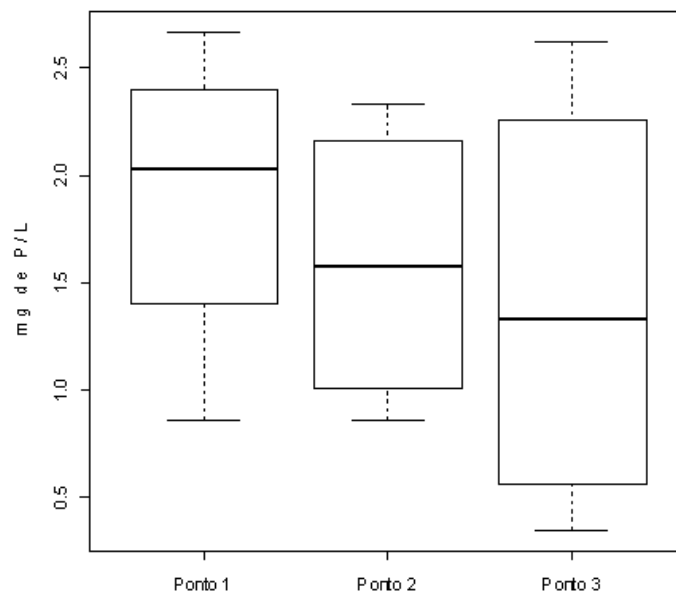
Tabela 34 - Variação espacial e temporal do fósforo total

Fósforo total mg de P/L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	1,94	2,67	0,856	2,13
2	0,86	2,33	1,15	1,99
3	0,77	2,62	0,35	1,89
Média	1,19	2,54	0,79	2,01
DP	0,65	0,18	0,41	0,12
CV (%)	54,62	7,09	51,90	5,97

Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 23 apresenta a variação de fósforo total, por pontos de coleta.

Figura 23 - Boxplot de fósforo total por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Para o fósforo total os valores dos três pontos mostram um comportamento semelhante, com o ponto 3 apresentando uma maior variação, em razão da assimilação de fósforo pelas macrófitas, presentes nessa região do ASA. O ponto 1 apresenta a maior média, fato creditado à estagnação da água nessa região do açude.

Na Tabela 35 estão expostos os valores das médias do teor de fósforo total, por pontos de coleta, bem como a sua análise estatística.

Tabela 35 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para fósforo total

Grupo	Ponto	Média
a	1	1,89
a	2	1,59
a	3	1,41

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todos os pontos não diferem significativamente, ou seja, os valores de fósforo total se mantiveram uniformes em toda a extensão do ASA.

Na Tabela 36, tem-se a correlação de fósforo total com cada fator climático.

Tabela 36 - Correlação dos fatores climáticos com o fósforo total

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,88	0,51	-0,87	0,78

Fonte: Próprio autor, 2013

Observando esses valores, a temperatura do ar e a precipitação são os fatores que exercem maior influência sobre os valores de fósforo total, sendo estas correlações positiva e negativa, respectivamente. Quanto maior a temperatura do ar, maior se apresenta os valores de fósforo total. O açude pode ter passado por altas taxas de evaporação no período de estiagem, com a concentração dessa espécie química. Verifica-se também que, quanto maior a precipitação do período chuvoso, menor a concentração desse parâmetro, pela diluição ocasionada pelas águas da chuva.

A análise estatística das médias de fósforo total, por data de coleta, pode ser observada na Tabela 37 e conforme a mesma, pode ser concluído que, as médias de todas as datas não foram estatisticamente diferentes, mostrando uniformidade deste parâmetro no ASA. Os outros parâmetros químicos, os físicos e climáticos não influenciaram de forma determinante na variação do fósforo total.

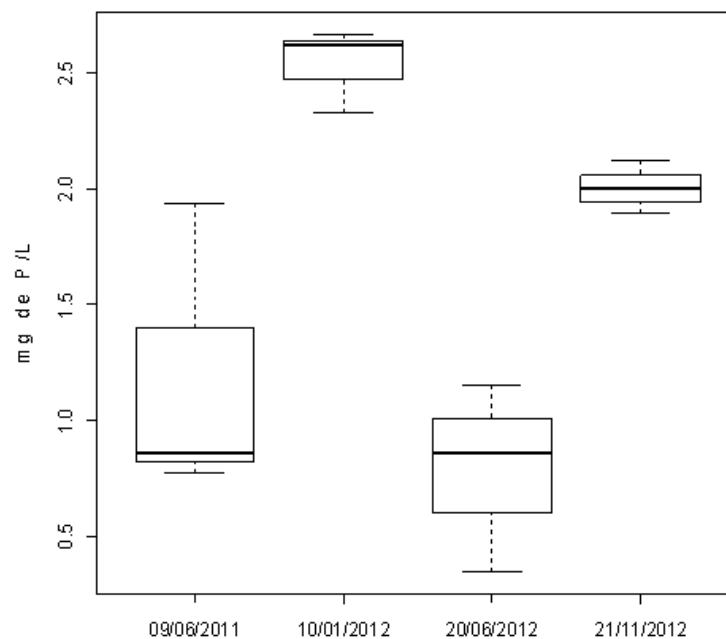
Tabela 37 - Comparação de médias nas coletas, pelo teste Tukey, para fósforo total

Grupo	Data	Média
a	10/01/2012	2,54
b	21/11/2012	2,01
bc	09/06/2011	1,19
c	20/06/2012	0,79

Fonte: Próprio autor, 2013

A variação dos valores de fósforo total, por datas, estão expostos na Figura 24.

Figura 24 - Boxplot de fósforo total por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

Comparando as quatro campanhas, pelo boxplot observa-se que houve uma maior variação do fósforo total nas coletas dos dias 09/06/11 e 20/06/12, que correspondem ao período chuvoso. Esse resultado ratifica o estudo das correlações, feito anteriormente.

Uma grande parte do ortofosfato presente no ASA, tem origem fecal ou é proveniente dos detergentes.

Na Tabela 38, pode-se observar a sua variação, nas quatro campanhas e nos três pontos de coleta.

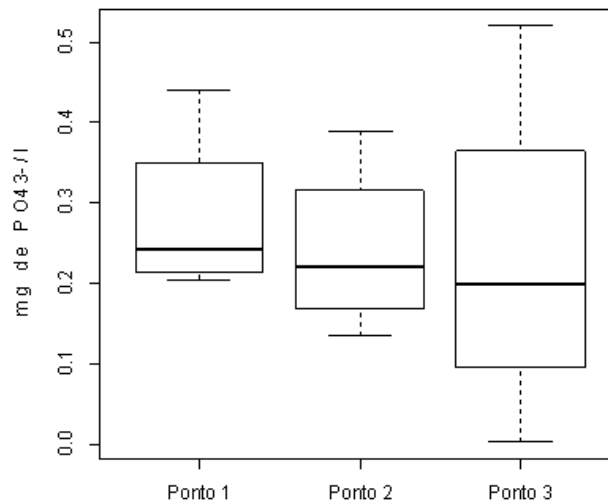
Tabela 38 - Variação do ortofosfato

Ortofosfato mg de PO₄⁻³/L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	0,26	0,44	0,22	0,20
2	0,24	0,39	0,13	0,20
3	0,21	0,52	0,03	0,19
Média	0,24	0,45	0,10	0,19
DP	0,03	0,07	0,11	0,01
CV (%)	12,50	15,55	110,00	5,26

Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 25 traz a variação do teor de ortofosfato, nos pontos de coleta.

Figura 25 - Boxplot de ortofosfato por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Tabela 39 expõe o estudo estatístico das médias dos valores de ortofosfato, por pontos.

Com base na tabela 39 verifica-se que as médias do teor de ortofosfato, nos três pontos, não diferem significativamente. Esse parâmetro se mostrou homogêneo em toda a extensão do açude.

Tabela 39 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para ortofosfato.

Grupo	Ponto	Média
a	1	0,28
a	2	0,24
a	3	0,23

Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 40, observa-se a correlação de ortofosfato com cada fator climático.

Tabela 40 - Correlação dos fatores climáticos com o ortofosfato

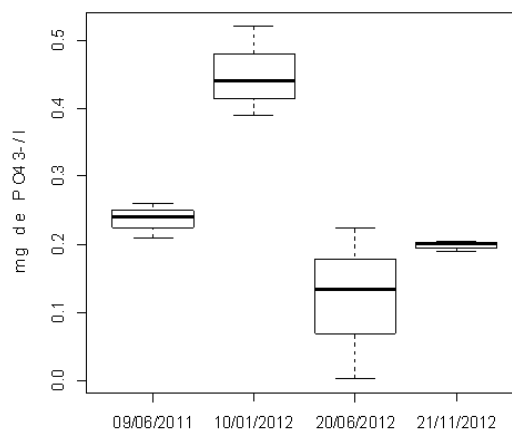
Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,97	-0,06	-0,49	0,39

Fonte: Próprio autor, 2013

Analisando os valores da Tabela 40, a temperatura do ar é o fator que exerce maior influência sobre o teor de ortofosfato, sendo ela uma correlação positiva onde quanto maior a temperatura do ar, maior se apresenta os valores de ortofosfato. Esse parâmetro tem comportamento semelhante ao teor de fósforo total.

A variação do teor ortofosfato nas datas de coleta é exibida na Figura 26.

Figura 26 - Boxplot de ortofosfato por datas de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2013

A Tabela 41 apresenta a análise estatística das médias dos valores de ortofosfato. Os valores na coleta de 10/01/2012, apresentam-se maiores que as demais, sendo diferente do ponto de vista estatístico. Nessa data foram registrados os maiores valores da temperatura do ar, fator climático que teve maior influência na variação do fósforo total e ortofosfato.

Tabela 41 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para ortofosfato.

Grupo	Data	Média
a	10/01/2012	0,45
b	09/06/2011	0,25
b	21/11/2012	0,29
b	20/06/2012	0,12

Fonte: Próprio autor, 2013

No teor de ortofosfato não se observa o mesmo comportamento do fósforo total. Somente na coleta do dia 10/01/2012 foi observada uma diferença estatística, em relação às outras médias, que caracterizou que o comportamento da variação do ortofosfato não teve uma influência expressiva dos períodos de estiagem e de precipitação.

O fósforo ocorre em águas naturais e residuais na forma de fosfato e fosfatos orgânicos. Os fosfatos orgânicos ocorrem dissolvidos, como partículas provenientes de detritos e corpos de organismos aquáticos.

Quando a contaminação por fósforo aumenta, a água é suspeita de estar poluída por esgoto doméstico e detritos orgânicos, isto caracteriza uma poluição pontual por ações antrópicas. Este fato foi observado no ASA, durante a presente pesquisa.

Esse impacto ambiental também pode ser observado em outros reservatórios do Ceará, como é o caso das sub-bacias dos açudes de Araras, Edson Queiroz e Jaibaras, que fazem parte da bacia do Acaraú e são usados para o abastecimento público de cidades daquela região. Segundo Figueirêdo [30], nesses reservatórios foram registrados, no ano de 1999, valores de fósforo total de 0,55, 0,83 e 1,77 g/m².ano, em razão desse resultado eles foram definidos como corpos hídricos de alta vulnerabilidade, quanto a eutrofização.

5.4.6 Clorofila a

A variação da clorofila a é exibida na Tabela 42.

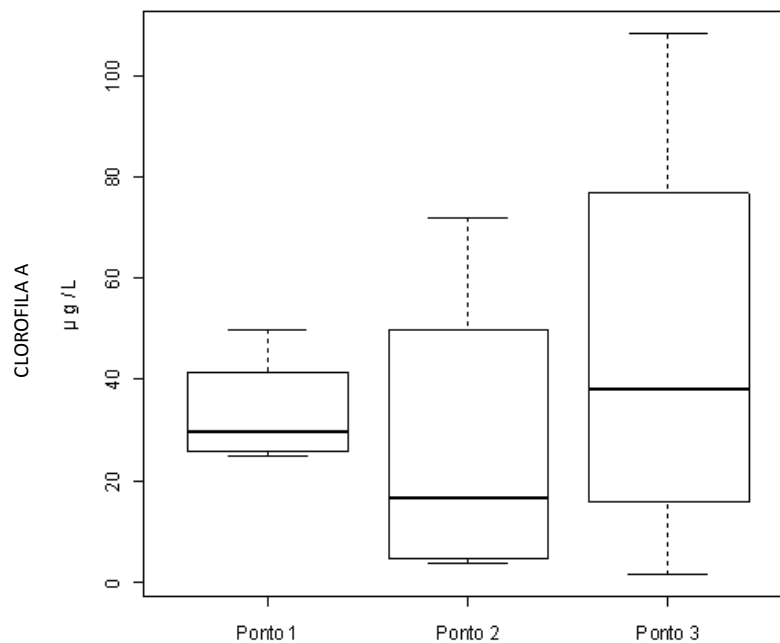
Tabela 42 - Variação espacial e temporal da clorofila a

Clorofila a $\mu\text{g/L}$				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	49,93	24,76	26,52	32,96
2	71,91	3,60	27,77	5,49
3	1,56	30,44	45,52	108,17
Media	41,13	19,60	33,27	48,87
DP	35,99	14,14	10,63	53,16
CV (%)	87,50	72,14	31,95	108,78

Fonte: próprio autor, 2013

A Figura 27 expõe a variação da clorofila a nas águas do ASA.

Figura 27 - Boxplot de clorofila a por pontos observados.



Fonte: Próprio autor, 2013

A análise estatística das médias de clorofila a, por pontos, é exibida na Tabela 43.

As médias de todos os pontos não diferem significativamente, isto é o teor de clorofila a se manteve uniforme nos três pontos de coleta, do ponto de vista estatístico. Como pode ser visto na Tabela 43.

Tabela 43 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para clorofila a.

Grupo	Ponto	Média
a	3	46,42
a	1	33,54
a	2	27,19

Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 44, tem-se a correlação de clorofila a com cada fator climático. Observando os valores abaixo, a insolação é o fator que exerce maior influência sobre os valores de clorofila a, sendo ela uma correlação positiva onde quanto maior a insolação, maiores se apresentam os valores de clorofila a. Os outros fatores apresentam baixa correlação com os valores de clorofila a. Esse fato pode ser explicado pela forte incidência de luz solar que intensifica o processo de fotossíntese realizado pelas macrófitas presentes nesse meio aquático.

Tabela 44 - Correlação dos fatores climáticos com a clorofila a

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
-0,71	0,39	0,15	0,98

Fonte: Próprio autor, 2013

O estudo da homogeneidade do teor de clorofila a, nas datas de coleta, é mostrado na Tabela 45.

As médias de todas as datas não diferem significativamente. Esse parâmetro se manteve homogêneo em todas as coletas realizadas.

Tabela 45 - Comparação de médias nas coletas, teste Tukey para clorofila a

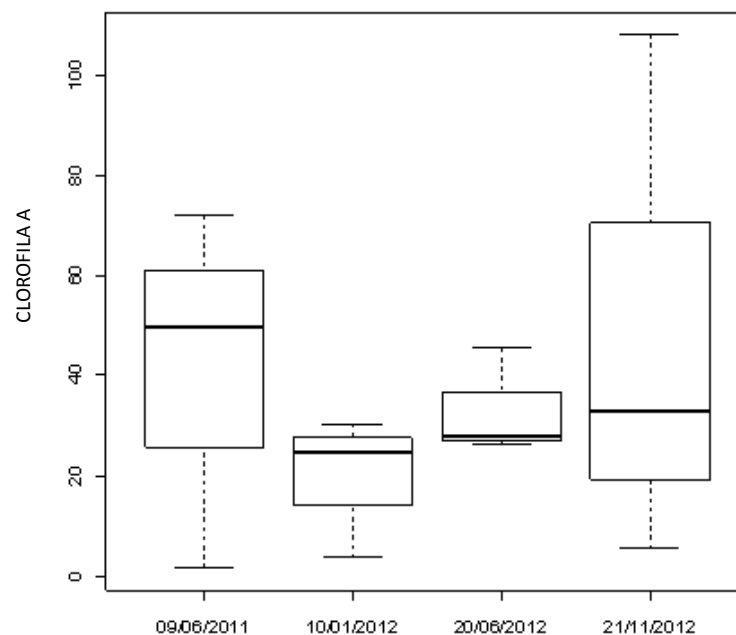
Grupo	Data	Média
a	21/11/2012	48,87
a	09/06/2011	41,13
a	20/06/2012	33,27
a	10/01/2012	19,60

Fonte: Próprio autor, 2013

Em referência a conformidade do teor de clorofila a, determinado nas análises durante a pesquisa e a resolução CONAMA 357/05 (60 µg/L), pode-se deduzir que os valores do referido parâmetro estão dentro dos padrões estabelecidos, na maioria das análises desse estudo, com exceção do ponto 2 na coleta do dia 09/06/11 e do ponto 3 na coleta do dia 21/11/12.

A Figura 28 representa a variação de clorofila a nas datas de coletas. Para esse parâmetro, os valores se apresentam próximos, com maior variação na coleta de 21/11/2012, também nessa data foram registrados as maiores taxas de insolação, que é o fator climático que teve maior influência sobre a variação do teor de clorofila a .

Figura 28 -Boxplot de clorofila a por datas de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2013

5.5 Cálculo do estado trófico (IET) do açude Santo Anastácio.

O cálculo foi realizado de acordo com a equação citada no item 1.2.2 (padrões de qualidade) usada na determinação do estado trófico, descrita como **.IET = [IET (PT) + IET (CL)]/ 2.**[10]

A tabela 46 apresenta os resultados dos cálculos para o IET do ASA, bem como a classificação desse açude com relação ao seu estado de eutrofização, durante todo período dessa pesquisa.

Tabela 46 - Resultados do IET para o açude Santo Anastácio

COLETA	PONTO	IET(CL)	IET(PT)	IET	ESTADO TRÓFICO
09/06/2011	1	67,3	89,3	78,9	Hipereutrófico
	2	57,1	82,6	69,8	Hipereutrófico
	3	67,6	90,0	78,8	Hipereutrófico
10/01/2012	1	70,0	87,9	79,0	Hipereutrófico
	2	71,8	83,2	77,5	Hipereutrófico
	3	69,1	65,5	67,3	Hipereutrófico
20/06/2012	1	69,96	89,3	79,6	Hipereutrófico
	2	71,77	90,0	80,9	Hipereutrófico
	3	52,98	83,0	68,0	Hipereutrófico
21/11/2012	1	66,54	2,6	74,6	Hipereutrófico
	2	57,08	87,28	72,1	Hipereutrófico
	3	67,55	66,0	66,8	Supereutrófico

Fonte: próprio autor, 2013

De acordo com a Tabela 6, que apresenta a classificação, quanto grau de trofia, definida com base nos cálculos de IET e os estados tróficos dos reservatórios (índice de Carlson modificado por Lamparelli), respectivamente, pode-se concluir que o corpo d'água em estudo pode ser classificado como HIPEREUTRÓFICO na maior parte das coletas.

Estudo semelhante foi realizado por Wengrate Bicudo [31] no Complexo Billings, localizado no estado de São Paulo. Esta pesquisa teve como objetivo principal fazer uma avaliação espacial da qualidade da água deste Complexo. As amostragens foram realizadas em 12 locais: 2 no Corpo Central, 3 no Braço Taquacetuba (TQ); 3 no Braço Rio Pequeno (RP) e 4 na Represa Rio Grande (RG). A coleta da água foi realizada ao longo do perfil vertical no período de inverno (agosto/2009) e verão (fevereiro/2010). Foram avaliadas características físicas e químicas da água e foi calculado o índice de estado trófico (IET) de Lamparelli. As águas do Complexo Billings tiveram uma classificação variando em mesotrófica (RP), eutrófica (RG) à supereutrófica (CB e TQ). Segundo os autores, a variação do IET foi fortemente influenciada pelo período climático e, principalmente, pelo manejo antrópico desse Complexo.

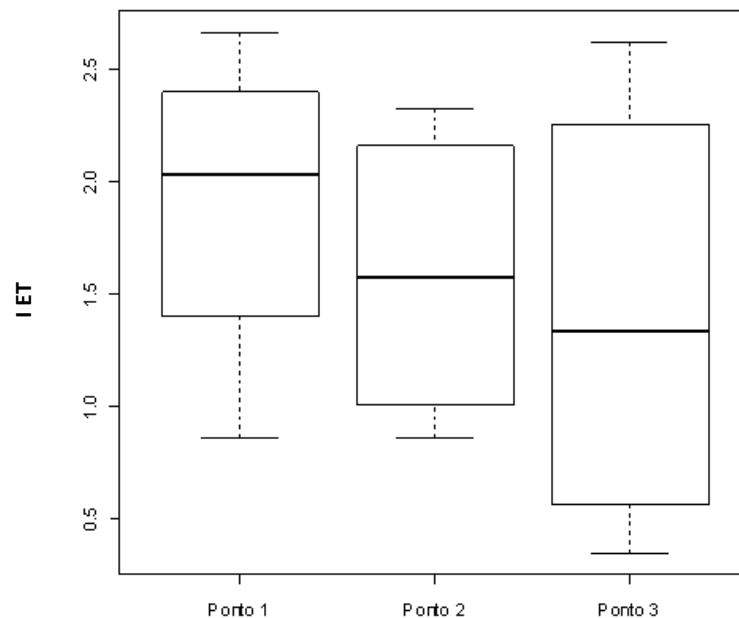
Na região Nordeste, Almeida *et al* [32] analisaram as concentrações de fósforo total e clorofila a, para determinar o IET em seis reservatórios do estado de Pernambuco, localizados nas regiões da zona da mata, agreste e sertão, mais

precisamente nas cidades de Recife, Garanhuns, Pedra, Ibimirim e Serra Talhada. Os reservatórios estudados foram: Duas Unas, Mundaú, Arcoverde, Poço da Cruz, Jazigo e Saco. Esses açudes foram classificados entre eutróficos e hipertróficos.

No Ceará, um levantamento realizado recentemente pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) mostrou que cerca de 12,1% dos 132 açudes monitorados por esta companhia, apresentam estado eutrófico ou hipereutrófico (anexo A).

A variação do valor do IET calculado para os três pontos de coleta, durante a pesquisa, é mostrada na Figura 29.

Figura 29 - Boxplot de IET por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 47, tem-se as médias do IET para os três pontos de coleta. Como pode ser observado, não há diferenças estatísticas nos valores desse parâmetro.

Tabela 47 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para IET.

Grupo	Ponto	Média
a	1	77,70
a	3	75,27
a	2	75,15

Fonte: Próprio autor, 2013

A Tabela 48 mostra a correlação de IET com cada fator climático. Observando os valores abaixo, a precipitação e a insolação são os fatores que exercem maior influência sobre o IET, sendo a precipitação uma correlação negativa e a insolação uma correlação positiva, como já era esperado.

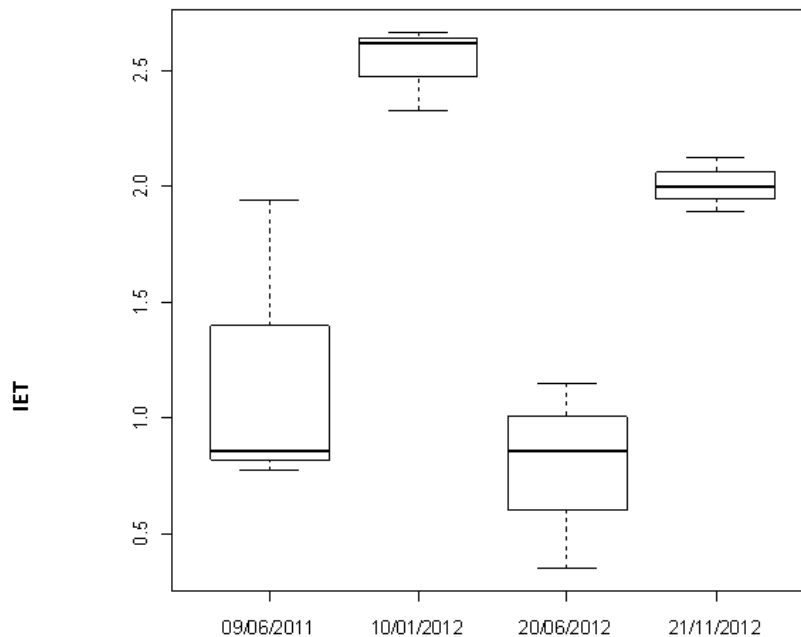
Tabela 48 - Correlação dos fatores climáticos com o IET

Temperatura do ar	Velocidade do vento.	Precipitação	Insolação
0,50	0,91	-0,96	0,93

Fonte: Próprio autor, 2013

A variação do IET durante todas as campanhas, são mostradas na Figura 30.

Figura 30 - Boxplot de IET por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

Tabela 49 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para IET

Grupo	Data	Média
a	21/11/2012	77,67
a	10/01/2012	76,77
a	20/06/2012	74,93
a	09/06/2011	74,80

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todas as datas não diferem significativamente.

Para IET os valores na coleta de 09/06/2011 apresentam menor média, devido aos maiores índices de precipitação nessa data, esse parâmetro climático possui uma correlação negativa com o IET.

5.5.1 Características de um reservatório hipereutrófico

O Quadro 7 mostra as principais características de um açude hipereutrófico.

Quadro 7- Características da hipereutrofização

ITEM	CLASSE DE TROFIA
	HIPEREUTRÓFICO
Biomassa	Bastante alta
Fração de algas verdes e/ou cianofíceas	Bastante alta
Presença de macrófitas	Baixa
Dinâmica de produção	Alta, instável
Dinâmica de oxigênio dissolvido	Bastante instável, de supersaturação à ausência
Prejuízo aos usos múltiplos	Bastante alto

Fonte: Agência nacional de águas (ANA), 2005

5.5.2 Possíveis causas e consequências da eutrofização do açude Santo Anastácio

Açudes hipereutrofizados são corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios de florações de algas, e

interferências nos seus múltiplos usos, além disso, são afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes. [33]

Dependendo da capacidade de autodepuração desse corpo d'água, a população de algas e macrófitas pode atingir valores bastante elevados. Em um período de elevada insolação (energia luminosa para a fotossíntese), esses vegetais podem alcançar superpopulações, constituindo uma camada superficial verde. [33]

Esta camada superficial impede a penetração da energia luminosa nas camadas inferiores do corpo d'água, causando a morte das algas situadas neste açude. A morte destas algas traz uma série de outros problemas, como aumento da matéria orgânica e com ela a diminuição do oxigênio dissolvido. Essas consequências acarretam danos que aceleram o processo de envelhecimento do açude, ou seja, sua eutrofização.

A eutrofização é o crescimento excessivo de plantas que se movem livremente com a água, como os fitoplânctons e de plantas aderidas, denominadas algas benthicas. [33]

O ASA estando hipereutrofizado serve de meio suporte para o crescimento de vegetais fixos de maiores dimensões (macrófitas), estes vegetais causam uma evidente deterioração no aspecto visual desse corpo d'água. Essas macrófitas são denominadas, popularmente, por aguapés e representam um indício visual de poluição. A proliferação desses vegetais, que já pode ser observada no ASA, pode alcançar níveis tão elevados que, futuramente, poderá causar interferências nos usos desejáveis desse corpo d'água, como a pesca amadora, recreação de contato secundário e a dessedentação de animais. Essas atividades no açude ficarão completamente inviáveis, representando um risco à saúde da população que faz uso corriqueiro desse reservatório.

O principal fator que contribui para a evolução desse processo no açude é a quantidade excessiva de nutrientes, principalmente o fósforo, como foi observado em todos os resultados das coletas, onde os valores obtidos apresentavam-se muito acima do valor padrão determinado pela Resolução CONAMA 374/05.

Os nutrientes presentes nas águas do ASAsão oriundos do esgoto sanitário que é despejado diariamente no mesmo eque contém a presença de fezes, urina,

restos de alimentos, detergentes e outros subprodutos das atividades das pessoas que vivem no seu entorno.

O que ocorre nesse reservatório é que os efluentes domésticos são despejados diretamente no canal que liga a lagoa de Parangaba a ele, pela população que reside à sua margem. Essas residências não têm acesso ao sistema de saneamento e drenagem dos resíduos líquidos, porque suas casas foram construídas de modo irregular, na parede do canal (Figura 31). A drenagem da região urbana do açude transporta uma carga muito grande de nutrientes, cujo aporte contribui para uma elevação no teor de algas e proliferação de aguapés nesse corpo d'água, como ilustrado na Figura 32.

Figura 31 - Foto do canal que alimenta o Santo Anastácio, mostrando as casas construídas irregularmente nas suas margens



Fonte: PROGERE, 2010

Figura 32 - Foto do açude Santo Anastácio, mostrando a proliferação dos aguapés na sua superfície



Fonte: Próprio autor, 2011

5.6 Parâmetros usados no cálculo do IQA das águas do ASA

Para a determinação do IQA foram realizadas as análises dos nove parâmetros usados para o cálculo desse índice, que são: OD, DBO, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total (já comentados anteriormente), temperatura, pH, sólidos totais e turbidez.

5.6.1 Temperatura da amostra

A variação da temperatura da amostra mostrada na Tabela 57, é uma medida física da água que determina a intensidade de calor. Essa medida foi importante na pesquisa porque ela influencia na presença de gases dissolvidos na água, já que a solubilidade dos gases é inversamente proporcional à temperatura. [23]

Por meio da medida da temperatura da massa de água desse açude em pontos estratégicos, pela sonda multiparamétrica citada anteriormente, ficou determinado que o ASA apresenta temperatura uniforme em toda a sua coluna d'água, isto é, não possui extratificação térmica, pois a propagação do calor ocorre de maneira eficiente, através de toda a massa líquida, esse fenômeno pode ser explicado pelo fato da sua profundidade já ter sido bastante reduzida em razão do adiantado processo de assoreamento que lhe acomete e pela velocidade do vento no local que fornece energia suficiente para misturar, eficientemente, a sua massa de água.

Esta constatação influenciou diretamente as técnicas de amostragem usadas, pois se houvesse camadas d'água com diferentes temperaturas e conseqüentemente com diferentes densidades, seria necessário fazer coletas em diferentes profundidades, pois essas amostras seriam diferentes sob os aspectos físicos, químicos e biológicos.

A Tabela 50 apresenta os resultados das medidas da temperatura das amostras coletadas nos três pontos, nas quatro datas previamente estabelecidas.

Tabela 50 - Variação espaço-temporal da temperatura da amostra

Temperatura da amostra °C				
Pontos	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	25,32	27,19	24,83	28,22
2	24,72	27,38	23,45	28,75
3	25,57	27,89	24,10	29,00
Média	25,20	27,49	24,13	28,61
DP	0,44	0,36	0,69	0,55
CV(%)	1,75	1,31	2,85	1,92

Fonte: Próprio autor, 2013

Outra contribuição importante do estudo da variação da temperatura das águas do ASA é a sua interferência na velocidade das reações que ocorrem nesse meio aquático. A sua elevação pode acelerar algumas reações bioquímicas sucedidas nesse corpo hídrico.

A Tabela 51 mostra a análise estatística dos resultados obtidos nas medições das temperaturas das amostras, bem como a comparação entre elas.

Tabela 51 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para a temperatura da amostra

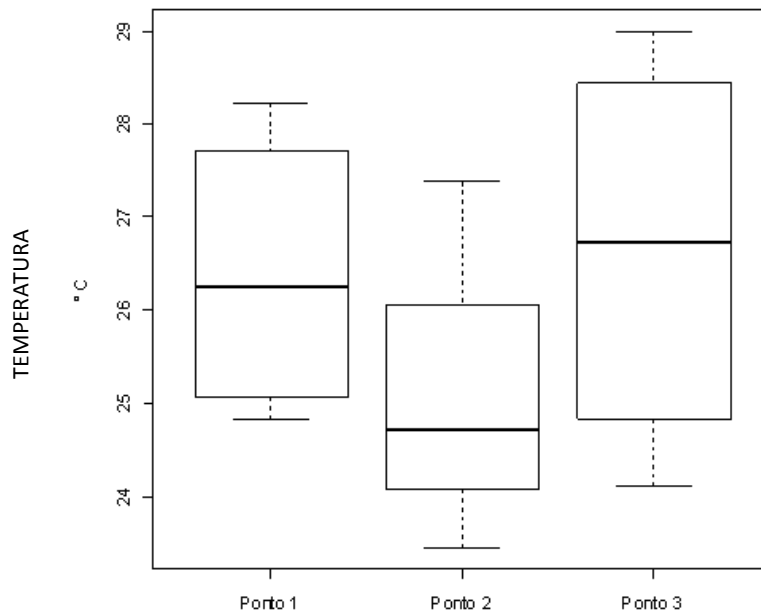
Grupo	Ponto	Médias
a	3	26,64
a	1	25,39
a	2	25,18

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias dos três pontos, com relação à temperatura das amostras, mostraram-se estatisticamente iguais, com significância de 5%.

Avaliando-se a variabilidade espacial deste parâmetro, observa-se, na Figura 33, a pequena variação da temperatura, nos pontos de coleta, bem como baixo valor do coeficiente de variação ($CV < 5\%$), mostrando assim que, o ASA é homogêneo em relação à temperatura.

Figura 33 - Boxplot da temperatura da amostra por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 52, observa-se a correlação da temperatura da amostra com cada fator climático. Observando os valores abaixo, a precipitação é o fator que exerce maior influência sobre a temperatura da amostra, pois tem o maior coeficiente de correlação em módulo (-0,90), sendo essa correlação negativa, onde quanto maior a precipitação, menor se apresenta a temperatura da amostra.

Tabela 52 - Correlação dos fatores climáticos com a temperatura da amostra

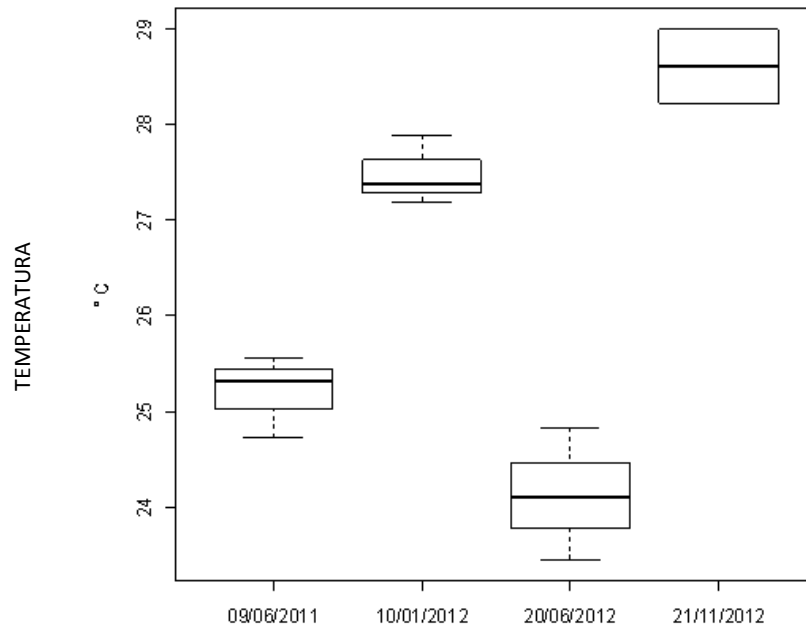
Temperatura do Ar	Velocidade do vento.	Precipitação	Insolação
0,56	0,81	-0,90	0,83

Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 34 exibe a variação da temperatura da amostra nas quatro datas determinadas para coleta.

As águas das chuvas que ocorreram nas datas de 09/06/2011 e 20/06/2012, resfriaram as águas do ASA, diminuindo sua temperatura. Evento que teve maior evidência na coleta do dia 20/06/2012, em razão da precipitação que ocorreu na madrugada desse dia (31 mm). [22]

Figura 34 - Boxplot da temperatura da amostra por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

Tabela 53 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para a temperatura da amostra

Grupo	Data	Médias
a	21/11/2012	28,61
a	10/01/2012	27,49
b	09/06/2011	25,20
b	20/06/2012	24,13

Fonte: Próprio autor, 2013

Para a temperatura da amostra os valores na coleta de 10/01/2012 e 21/11/2012 apresentam-se maiores que as demais e não diferem significativamente entre si. Além do que já foi explanado anteriormente, com relação à correlação, sobre as causas do comportamento desse parâmetro, esse evento também pode ser explicado pela estiagem, maior temperatura do ar e maiores índices de insolação, observados nos períodos dessas duas coletas (Figura 6). Isso sugere que houve diferenças sazonais entre os períodos de estiagem e chuvoso.

5.6.2 pH

A Tabela 54 exibe os valores de pH determinados com a sonda multiparamétrica. Esse parâmetro fornece dados importantes com relação a acidez das águas do ASA.

Tabela 54 - Variação espacial e temporal do pH

pH				
Pontos	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	7,05	7,38	7,67	7,51
2	7,39	7,55	7,22	7,55
3	7,34	7,42	7,36	7,70
Média	7,26	7,45	7,42	7,59
DP	0,18	0,09	0,23	0,10
CV (%)	2,48	1,21	3,10	1,32

Fonte: Próprio autor, 2013

A comparação das médias dos valores de pH medidos nos pontos de coleta, é apresentada na Tabela 55.

Tabela 55 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para o pH.

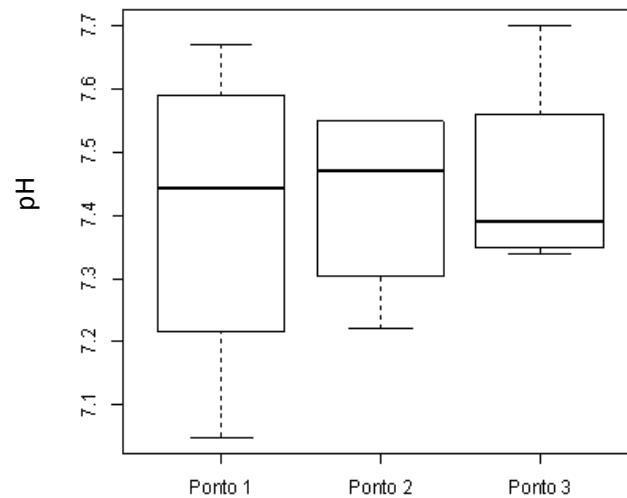
Grupo	Ponto	Médias
a	2	7,46
a	3	7,43
a	1	7,30

Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 55, observam-se as médias em ordem decrescente, onde as médias não diferem significativamente ao nível de significância de 5%. Com base nessa análise estatística, pode ser deduzido que o pH não sofreu influência da localização, mostrando uniformidade no açude.

Observa-se na Figura 35 a variação dos valores de pH nos três pontos de coleta.

Figura 35 - Boxplot do pH por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Para estudar a influência dos fatores climáticos sobre o pH das águas do ASA, foi realizada uma análise da correlação entre os mesmos. O estudo em questão foi mostrado por meio do coeficiente de correlação.

Na Tabela 56, tem-se a correlação do pH com cada fator climático. Observando os seus valores, a insolação é o fator que exerce maior influência sobre o pH, sendo uma correlação positiva, quanto maior a insolação, maior se apresenta o valor do pH.

Tabela 56 - Correlação dos fatores climáticos com o pH

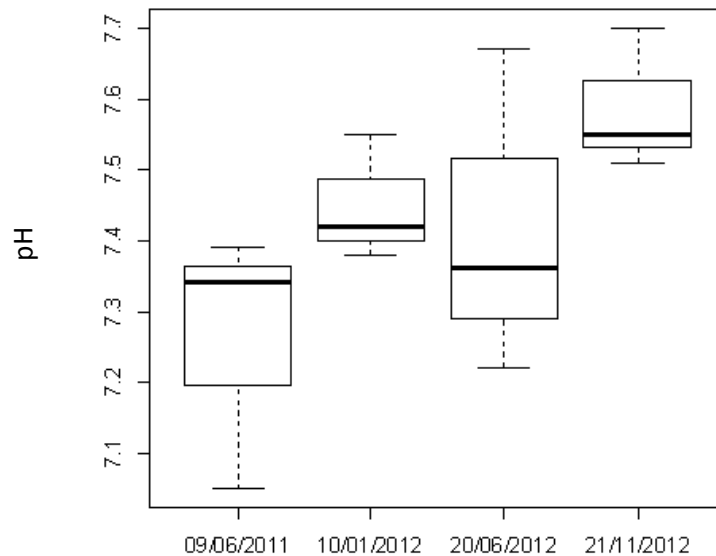
Temperatura do Ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,18	0,83	-0,86	0,91

Fonte: Próprio autor, 2013

As águas doces superficiais devem ter pH entre 6 e 9, de acordo com as medições registradas, pode-se concluir que no ASA, esse parâmetro está dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05. O ASA, mesmo sendo um corpo hídrico com elevada população de macrófitas, fato que poderia elevar o pH, não teve uma variação significativa para esse parâmetro.

A Figura 36 apresenta a variação dos valores de pH medidos nas quatro coletas.

Figura 36 - Boxplot do pH por datas de coleta.



Fonte: Próprio autor, 2013

A comparação estatística das médias dos valores de pH, por data de coleta, está indicada na Tabela 57.

As médias dos resultados de todas as coletas não diferem significativamente, ao nível de significância de 5%. Através dessa análise estatística, pode ser concluído que o pH não sofreu uma influência expressiva dos outros parâmetros químicos, físicos ou climáticos. Esta variável apresentou uniformidade e homogeneidade em todo o período estudado e em todos os pontos de coleta do açude, observado também pelo reduzido valor de % CV.

Tabela 57 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para pH

Grupo	Data	Médias
a	21/11/2012	7,59
a	10/01/2012	7,45
a	20/06/2012	7,42
a	09/06/2011	7,26

Fonte: Próprio autor, 2013

5.6.3 Sólidos Totais

A Tabela 58 mostra a variação dos sólidos totais ou resíduo total. Esse parâmetro refere-se à matéria que permanece como resíduo após a evaporação e secagem a uma temperatura entre 103 e 105°C.[23]

Tabela 58 - Variação espacial e temporal dos sólidos totais

Sólidos totais mg/L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	140,0	520,0	310,0	640,0
2	30,0	520,0	320,0	520,0
3	50,0	580,0	400,0	580,0
Média	73,3	540,0	343,3	580,0
DP	58,59	34,64	49,33	60,00
CV (%)	79,93	6,41	14,37	10,34

Fonte: Próprio autor, 2013

Vale ressaltar que nos 5 dias que antecederam a coleta de 09/06/2011, ocorreu um período chuvoso (54 mm) [22], fato que pode ter acarretado a diluição dos sólidos totais nas águas do ASA, explicando os baixos valores analisados nesse período.

A Tabela 69 mostra a variação de sólidos totais, por pontos de coleta, durante este estudo.

Tabela 59 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey sólidos totais.

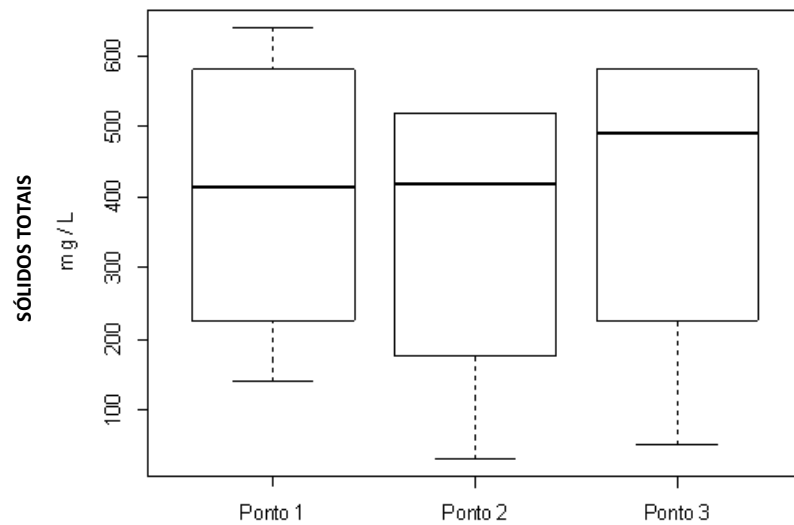
Grupo	Ponto	Média
a	3	402,5
a	1	402,5
a	2	347,5

Fonte: Próprio autor, 2013

Do ponto de vista estatístico, as médias foram consideradas estatisticamente iguais. Ocorreu uma uniformidade nesse parâmetro, nos três pontos de coleta.

A Figura 37 evidencia a variação dos sólidos totais nas amostras coletadas nos pontos 1, 2 e 3.

Figura 37- Boxplot dos sólidos totais por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Para os sólidos totais os valores dos três pontos apresentam uma variação semelhante, com o ponto dois apresentando uma assimetria positiva, com valores concentrados acima.

Na Tabela 60, pode ser observada a correlação do teor de sólidos totais com cada fator climático. Analisando os seus valores, conclui-se que a insolação é o fator que exerce maior influência sobre a quantidade de sólidos totais, sendo ela uma correlação positiva onde quanto maior a insolação, maior se apresenta os valores de sólidos totais. Assim, com a elevação da insolação, pode ocorrer a concentração de sólidos totais, ocasionada pela intensa evaporação da água. Vale ressaltar também a importância da precipitação, que apresentou um coeficiente de correlação relativamente alto. Que pode ocasionar a diluição dos sólidos totais presentes, diminuindo sua concentração.

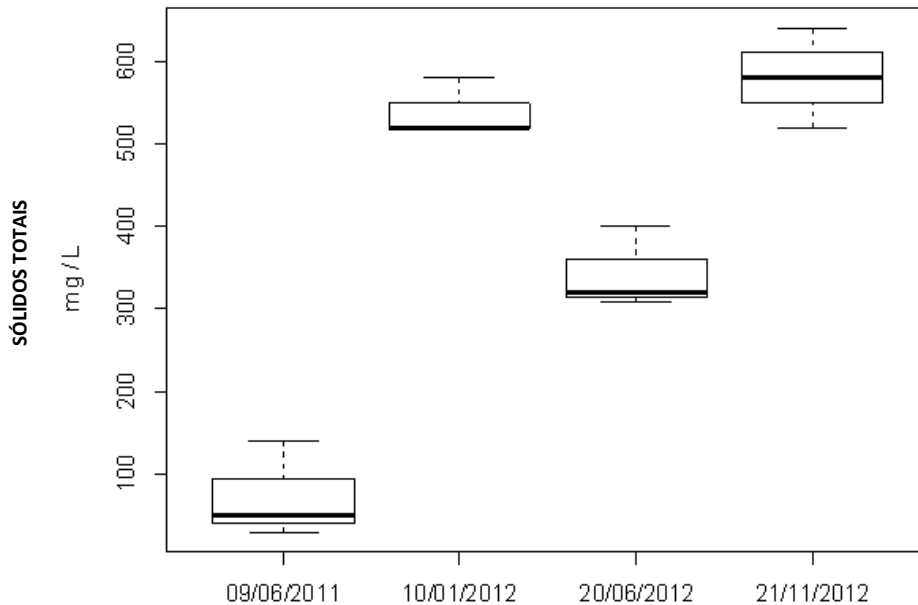
Tabela 60 - Correlação dos fatores climáticos com os sólidos totais

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,50	0,83	-0,95	0,99

Fonte: Próprio autor, 2013

A variação do teor de sólido total na águas do ASA, são descritos na Figura 38, de acordo com as datas das coletas realizadas.

Figura 38 -Boxplot dos sólidos totais por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

O teor de sólidos totais nas coletas de 21/11/2012 e 10/01/2012, apresentam-se com os maiores valores, isso pode ser explicado pelo fato que nessas coletas, ocorreu um longo período de estiagem, no qual foram registrados os maiores índices de insolação, que ocasionou a evaporação significativa das águas do ASA com a concentração desses sólidos.

Tabela 61 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para sólidos totais

Grupo	Data	Média
a	21/11/2012	580,0
a	10/01/2012	540,0
b	20/06/2012	343,3
c	09/06/2011	73,3

Fonte: Próprio autor, 2013

O valor da média da coleta do dia 21/11/2012 e 10/01/2012 foram considerados estatisticamente iguais entre si e diferentes dos demais em razão do período de estiagem correspondente a essas duas datas. Somente nesses dois períodos, o teor de sólidos totais foi maior que o valor estabelecido pela resolução

CONAMA 357/05, que é de 500 mg/L. Esse resultado determina a sazonalidade para esse parâmetro.

5.6.4 Turbidez

A Tabela 62 mostra a variação da turbidez. A turbidez elevada pode prejudicar a fauna e a flora presentes nos corpos hídricos, pois inibe a penetração da luz, prejudicando a fotossíntese e o equilíbrio desse meio aquático. [23]

Tabela 62 - Variação espacial e temporal da turbidez

Turbidez				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	42,0	20,0	34,0	23,2
2	25,3	18,0	22,0	20,3
3	25,2	18,0	18,0	10,8
Media	30,8	18,7	24,7	18,1
DP	9,67	1,15	8,33	6,49
CV (%)	31,39	6,15	33,72	35,86

Fonte: Próprio autor, 2013

O ponto 1 apresentou uma maior variação e o maior valor, pois nesse ponto ocorre a estagnação das águas, causando o aumento da turbidez artificial. As coletas no três pontos apresentam uma boa simetria, como mostra a Tabela 63, ou seja, valores bem distribuídos normalmente com valores de média e mediana bem próximos.

Tabela 63 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para turbidez

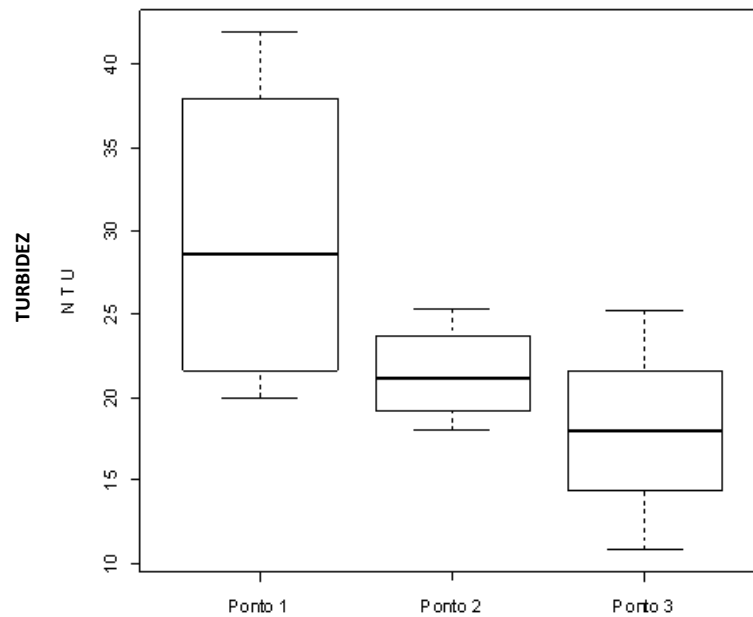
Grupo	Ponto	Média
a	1	29,8
a	2	21,4
a	3	18,0

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todos os pontos não diferem significativamente. A turbidez mostrou-se homogênea em toda extensão do ASA.

A variação dos valores de turbidez, nos pontos de coleta, são mostrados na Figura 39.

Figura 39 - Boxplot da turbidez por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Na Tabela 64, tem-se a correlação de turbidez com cada fator climático. Observando os seus valores, a insolação exerce maior influência sobre os valores de turbidez. Esse fator climático favorece a evaporação com a concentração dos substâncias presentes que acarretam, o aumento dessa variável nas águas do açude. Essa correlação é positiva, pois quanto maior a insolação, maior se apresenta os valores de turbidez.

Tabela 64 - Correlação dos fatores climáticos com a turbidez

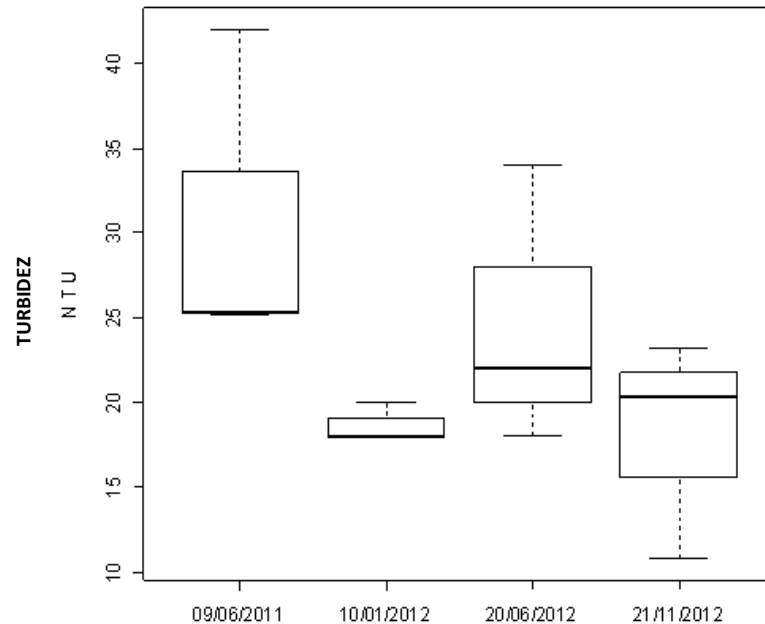
Temperatura do ar	Velocidade do vento.	Precipitação	Insolação
-0,55	-0,82	0,97	0,99

Fonte: Próprio autor, 2013

A precipitação também exerce bastante influência na turbidez, sendo esta uma correlação positiva, pois quanto maior ela se apresenta, mais ela favorece o processo erosivo das margens do reservatório, carreando uma grande quantidade de sólidos para as suas águas, fazendo assim com que aumente a sua turbidez.

A Figura 40 apresenta a variação da turbidez, nas datas das coletas da pesquisa.

Figura 40 - Boxplot dos turbidez por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

O estudo da sazonalidade das águas do ASA, com relação à turbidez, nas datas das coletas, é mostrado na Tabela 65.

Tabela 65 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para turbidez

Grupo	Data	Média
a	09/06/2011	30,83
a	20/06/2012	24,67
a	10/01/2012	18,67
a	21/11/2012	18,10

Fonte: Próprio autor, 2013

A análise estatística das médias de turbidez, por coleta, determina que esse parâmetro não teve variação sazonal, ou seja, todos os valores são estatisticamente iguais. Essa informação é indicada através da letra a, presente em todas as coletas.

Todos os resultados das medidas de turbidez, realizadas durante a presente pesquisa, estão de acordo com o padrão estabelecido pela resolução CONAMA 357/05, que é de 100 UNT, para a classificação das águas do ASA.

5.7 Cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA)

Os índices que utilizam uma escala numérica para representar os vários níveis de qualidade da água, começaram a ser usados por volta de 1965 [8].

Com base na teoria que a qualidade da água é uma propriedade geral e que não depende dos seus usos específicos, foram desenvolvidos índices gerais de qualidade como: o índice de Horton, o índice de qualidade da *National Sanitation Foundation (NSF)*, o índice de poluição implícito de Prati, o índice de poluição dos rios de McDuffie e o sistema de contabilidade social de Dinius. O parâmetro utilizado nesse trabalho foi o modelo de cálculo usado pela CETESB.[8]

5.7.1 Índice usado pela CETESB

O IQA retrata, através de um índice único global, a qualidade das águas em um ponto de monitoramento. Esses índices podem ser entendidos como notas, que mostram as condições ambientais do corpo d'água, variando de muito ruim a excelente. O principal objetivo desse cálculo é tornar a informação sobre a qualidade da água mais acessível ao público leigo.

Esse índice de qualidade é uma adaptação do índice da NSF, seus criadores selecionaram nove parâmetros de qualidade, para os quais foram determinados. Os pesos relativos dos mesmos e a condição em que se apresentavam cada um deles, de acordo com uma escala de valores (*rating*). Para os nove parâmetros foram definidas curvas e a variação da qualidade da água, de acordo com estado de cada variável. [8]

O IQA calculado pela fórmula: $IQA = \sum p_i . q_i^{w_i}$, como foi detalhado no item 1.2.2 (padrões de qualidade), é mostrado na Tabela 66, bem como a qualificação das águas do ASA nos três pontos escolhidos, em todas as coletas.

Tabela 66 - Índice de qualificação das águas do açude Santo Anastácio

PONTO	09/06/11		10/01/12		20/06/2012		21/11/12	
	IQA	QUALIF.	IQA	QUALIF.	IQA	QUALIF.	IQA	QUALIF.
1	31,7	Ruim	36,2	Ruim	52,0	Regular	31,9	Ruim
2	49,4	Regular	40,3	Regular	56,0	Boa	53,0	Regular
3	46,4	Regular	40,7	Regular	61,0	Boa	52,3	Regular

Fonte: Próprio autor, 2013

Com base nos resultados da Tabela 66, pode-se concluir que a pior qualificação (RUIM) foi observada no ponto 1 (região que fica nos limites da comunidade, que vive no entorno do açude), onde foi determinado o mais baixo IQA, em todas as coletas. Esse fato reflete os efeitos relacionados com a estagnação da água nesse ponto, onde foi detectado o mais baixo teor de OD, parâmetro que foi determinante no cálculo desse índice, pois na 1ª coleta estava próximo a zero.

Esse baixo OD também pode ser explicado pelos resíduos orgânicos despejados nesse corpo d'água, que são decompostos por micro-organismos que se utilizam do oxigênio na respiração. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de micro-organismos decompositores e, conseqüentemente, maior o consumo de oxigênio. Isso pode acarretar um estado de anaerobiose nessa região, com a formação de gases como o H₂S, como resultado da redução bacteriana do sulfato.

Mesmo nos outros pontos onde a qualificação teve um resultado mais ameno, na maioria regular, ainda não se observa uma classificação satisfatória para um reservatório com as finalidades as quais o ASA se destina, como a pesca artesanal, recreação e dessedentação de animais.

Para o IQA os valores dos pontos 2 e 3 apresentam uma variação semelhante, o ponto 1 apresentando uma maior variação e os menores valores, por ser a região do açude com a maior redução na aeração da água.

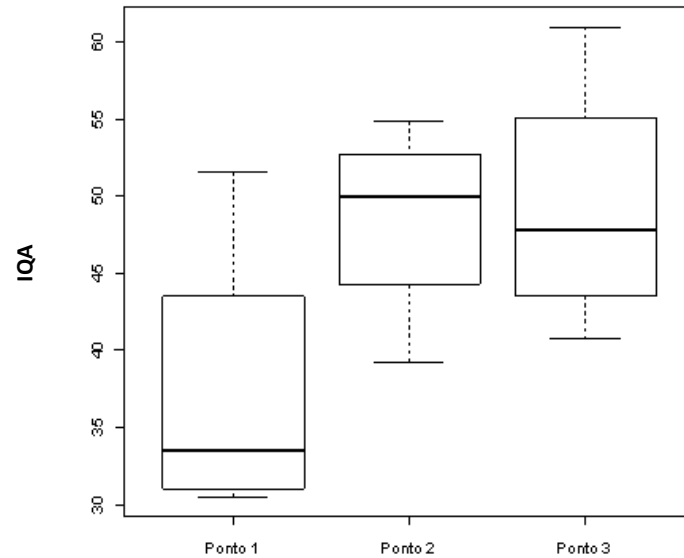
Tabela 67 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para IQA

Grupo	Ponto Observado	Média
a	3	49,3
a	2	48,5
b	1	37,3

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias de todos dos pontos 2 e 3 não diferem significativamente, apenas o ponto 1 apresentou heterogeneidade com relação aos demais. Isso comprova que o IQA sofreu influência da localização.

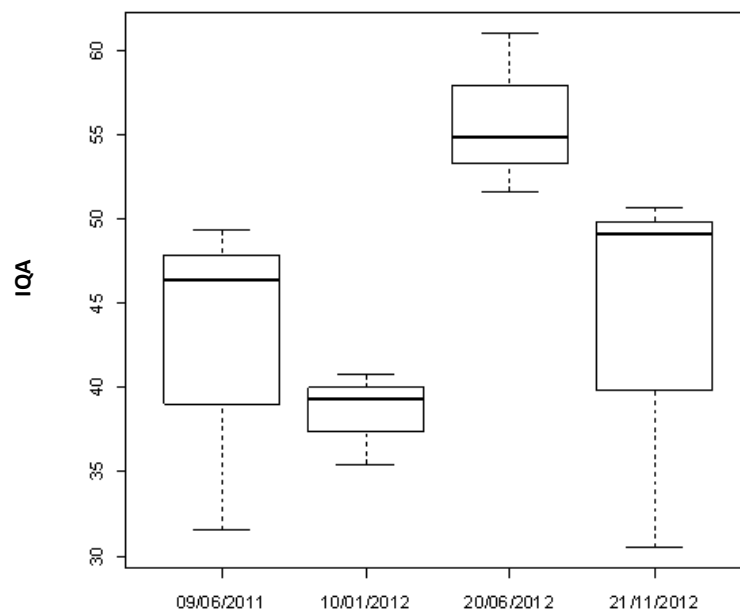
Figura 41 - Boxplot de IQA por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

A figura 42 mostra a variação do IQA, por data de coleta.

Figura 42 - Boxplot de IQA por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

Para o IQA, os valores na coleta de 20/06/2012 são os que apresentam a maior média, como pode ser visto na Tabela 68, isso pode ser explicado pela precipitação que ocorreu nessa data e que ocasionou uma diluição nas espécies químicas, melhorando a qualidade geral das águas do ASA.

Tabela 68 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para IQA

Grupo	Data	Média
b	20/06/2012	55,83
a	21/11/2012	43,40
a	09/06/2011	42,43
a	10/01/2012	38,47

Fonte: Próprio autor, 2013

Pesquisa semelhante a essa foi desenvolvida por Piazzinet al. [34] que determinaram o índice de qualidade das águas do reservatório Tanque Grande, na serra da Cantareira, em Guarulhos (SP). Para isso foram coletadas e analisadas amostras de três pontos desse corpo hídrico. Como resultado, as águas foram classificadas como boas, porém as concentrações de coliformes termotolerantes, DBO_{5,20} e fósforo total estavam em desconformidade com a legislação ambiental vigente. Este fato foi explicado pela atividades econômicas desenvolvidas no local, além da ocupação indevida do solo do entorno, resultados e conclusões que também foram observados no ASA.

5.8 Avaliação do nível de poluição de um modo geral

Para complementar a estimativa da poluição no ASA de uma maneira geral, foram analisados os parâmetros de condutividade, alcalinidade e sulfeto.

5.8.1 Condutividade

A variação da condutividade elétrica pode ser observada na Tabela 69.

Tabela 69 - Variação espacial e temporal da condutividade

Condutividade $\mu\text{S/cm}$				
Pontos	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	632	914	283	463
2	583	910	280	486
3	575	928	344	488
Média	596	917	302	479
DP	30,86	9,45	36,12	13,89
CV (%)	5,18	1,03	11,96	2,89

Fonte: Próprio autor, 2012

Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água. Quanto maior a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. [23]

A Tabela 70 mostra a comparação da médias dos valores de condutividade, medidos nos três pontos de coleta.

Tabela 70 - Comparação de médias nos pontos pelo teste de Tukey para condutividade

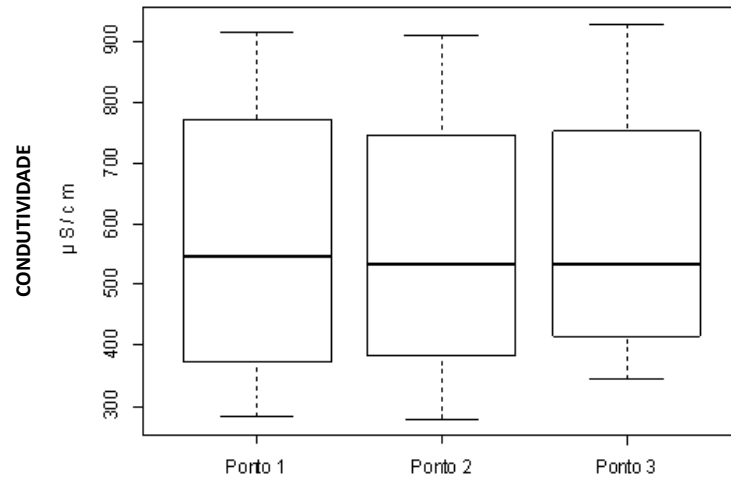
Grupo	Ponto	Médias
a	3	583,75
a	1	573,00
a	2	564,75

Fonte: Próprio autor, 2013

As médias estão apresentadas em ordem decrescente e não diferem significativamente ao nível de significância de 5%, ou seja, todas as médias são estatisticamente iguais. Isso significa que não houve variação entre os pontos de coleta.

A Figura 43 contempla a variação da condutividade das águas do ASA, nos três pontos de amostragem.

Figura 43 -Boxplot da condutividade por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

A Tabela 71, mostra a correlação da condutividade com cada fator climático. A insolação é o fator que exerce maior influência sobre a condutividade, sendo ela uma correlação positiva, quanto maior a insolação, maior se apresenta a condutividade. Deve-se salientar também a influência da velocidade dos ventos, que teve um coeficiente de correlação com a condutividade bastante elevado.

Tabela 71 - Correlação dos fatores climáticos com a condutividade

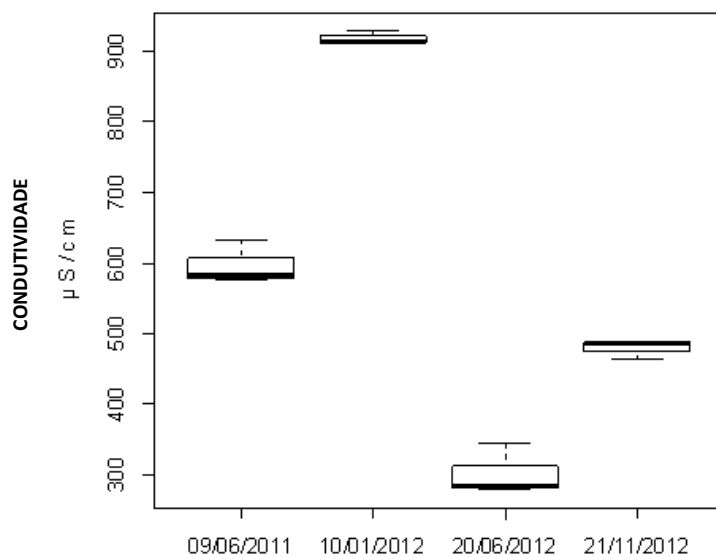
Temperatura do Ar	Velocidade do vento.	Precipitação	Insolação
0,18	0,91	-0,86	0,96

Fonte: Próprio autor, 2013

A elevada insolação aliada à velocidade dos ventos ocasiona uma maior evaporação e conseqüentemente a concentraçãodas espécies químicas presentes, aumentando, assim, a condutividade.

A variação da condutividade nas quatro datas de coletas, é exibida na Figura 44.

Figura 44 - Boxplot de condutividade por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

Como já citado anteriormente, choveu na madrugada do dia 20/06/2012, fato que refletiu no menor valor desse parâmetro, devido a diluição dos íons presentes. O mais alto valor da condutividade foi obtido na coleta do dia 10/01/2012, reflexo do final do período seco.

A Tabela 72 mostra as médias dos valores de condutividade das amostras coletadas nas referidas datas.

Tabela 72 - Comparação de médias nas coletas pelo teste de Tukey para condutividade

Grupo	Data	Médias
a	10/01/2012	917,33
b	09/06/20 11	596,67
c	21/11/2012	479,00
d	20/06/2012	302,33

Fonte: Próprio autor, 2012

Todas as médias dos valores de condutividade, nas quatro coletas, são estatisticamente diferentes. Esse parâmetro não apresentou variação sazonal, mostrando que os fatores climáticos não exerceram grande influência.

5.8.2 Alcalinidade total

A alcalinidade, em referência aos reservatórios, é a capacidade que esses corpos hídricos têm de neutralizar possíveis chuvas ácidas precipitadas sobre eles.

Equivale à soma de todos as bases tituláveis e pode ser também denominada como a sua capacidade de tamponação. Depende da presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, sendo o valor da alcalinidade dado pela concentração desses constituintes. [23]

Na Tabela 73, pode-se observar a variação da alcalinidade para todas as amostras coletadas durante todo o período de estudo.

Tabela 73 - Variação espacial e temporal da alcalinidade

Alcalinidade mg de CaCO₃/ L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	164,2	151,2	44,8	130,2
2	147,4	148,8	31,8	137,1
3	143,5	154,8	34,9	130,8
Média	151,7	151,6	37,2	132,7
DP	10,98	2,98	6,79	3,82
CV (%)	7,24	1,96	18,25	2,88

Fonte: Próprio autor, 2013

Tabela 74 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para alcalinidade

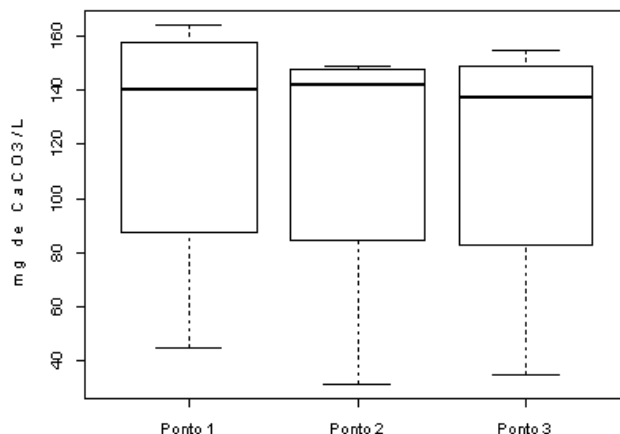
Grupo	Ponto	Média
a	1	122,6
a	2	116,3
a	3	116,0

Fonte: Próprio autor, 2013

A Tabela 74 mostra as médias em ordem decrescente, onde verifica-se que a alcalinidade não teve uma variação estatística significativa nos três pontos de coleta. Esse parâmetro se manteve homogêneo em toda a extensão do ASA.

A Figura 45 apresenta a variação da alcalinidade das amostras coletadas nos pontos 1, 2 e 3.

Figura 45 - Boxplot da Alcalinidade por pontos observados.



Fonte: Próprio autor, 2013

A Tabela 75 exibe os coeficientes de correlação da alcalinidade com cada fator climático. Observando esses valores, pode ser concluído que a precipitação apresentou uma correlação negativa com a alcalinidade, ou seja, a diluição das espécies químicas como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos no açude, favoreceu a diminuição da alcalinidade.

Tabela 75 - Correlação dos fatores climáticos com a alcalinidade

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
0,79	0,70	-0,97	0,93

Fonte: Próprio autor, 2013

A Figura 46 exibe a variação da alcalinidade das amostras nas quatro datas de coleta.

Na Tabela 76, observa-se a comparação estatística das médias de alcalinidade das amostras nas quatro coletas.

Tabela 76 - Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para alcalinidade

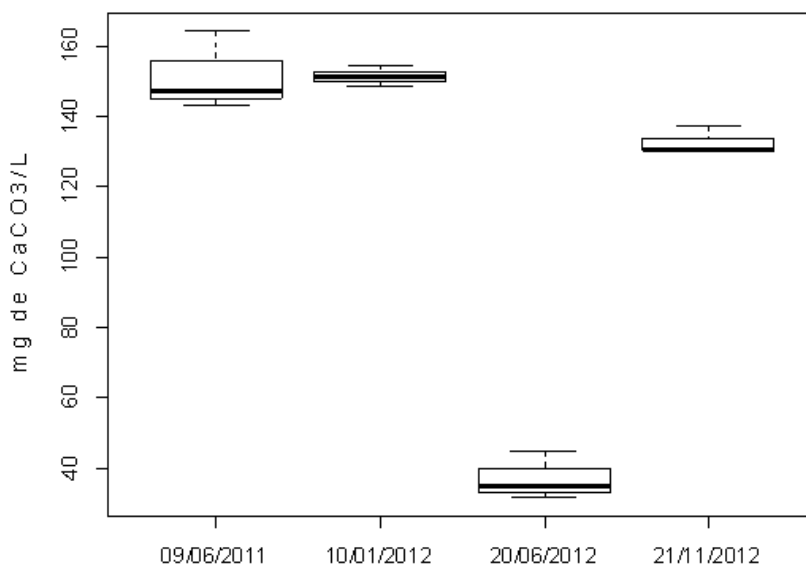
Grupo	Data	Média
a	09/06/2011	151,7
a	10/01/2012	151,6
ab	21/11/2012	132,7
c	20/06/2012	37,2

Fonte: Próprio autor, 2013

As coletas de 09/06/2011 e 10/01/2012 são estatisticamente iguais. Já a média da coleta do dia 20/06/2012 mostrou-se estatisticamente bem diferente das

demais, com elevada significância. Isto pode ser justificado em função da ocorrência da chuva na madrugada desse dia, cujo volume registrado foi de 31 mm.[22]

Figura 46 - Boxplot de alcalinidade por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

5.8.3 Sulfeto

A presença de sulfeto é comum em águas residuárias e o sulfeto de hidrogênio nas águas pode causar mau cheiro, sendo também muito tóxico.[24]

Os resultados das análises de sulfeto nas águas do ASA foram representados na Tabela 77.

Tabela 77 - Variação espacial e temporal do sulfeto

Sulfeto mg de S ²⁻ /L				
Ponto	09/06/2011	10/01/2012	20/06/2012	21/11/2012
1	0,42	0,42	0,42	9,86
2	0,42	0,83	0,42	8,34
3	0,42	0,42	0,42	11,37
Média	0,42	0,55	0,42	9,85
DP	0,00	0,24	0,00	1,52
CV (%)	0,00	43,65	0,00	15,43

Fonte: Próprio autor, 2013

Avaliando a Tabela 78, que exibe a análise estatística das médias de sulfeto das amostras nos três pontos, pode ser inferido que as médias de todos os pontos não diferem significativamente, com um nível de significância de 5%.

Tabela 78 - Comparação de médias nos pontos pelo teste Tukey para sulfeto

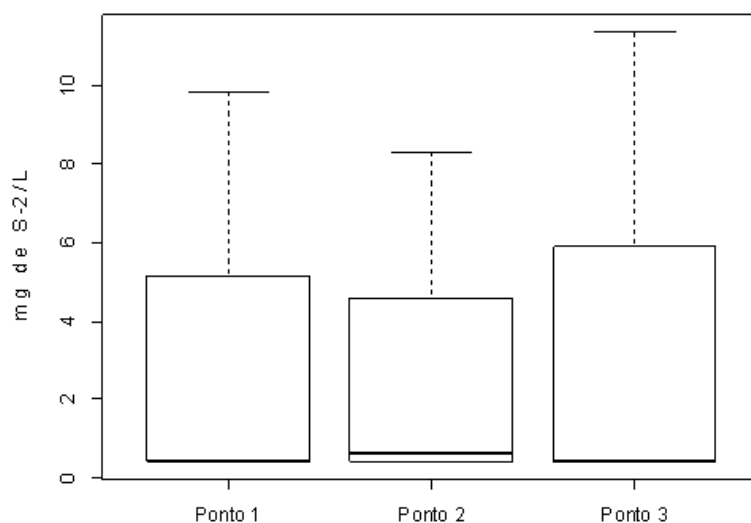
Grupo	Ponto	Médias
a	3	3,16
a	1	2,78
a	2	2,50

Fonte: Próprio autor, 2013

Os valores nos pontos 3 e 1 apresentaram-se um pouco maiores, pois essas regiões do açude contêm um elevado teor de matéria orgânica e conseqüentemente uma maior concentração de sulfeto, como resultado da ação de bactérias redutoras de sulfato. Essa conclusão pode ser ratificada pelas análises de DBO e DQO, que originaram resultados semelhantes com relação aos pontos 1 e 3.

A variação do teor de sulfeto nos três pontos de coleta do açude, pode ser visto na Figura 47.

Figura 47 - Boxplot do sulfeto por pontos observados



Fonte: Próprio autor, 2013

Analisando a Figura 47, que mostra o gráfico boxplot do sulfeto, pode ser concluído que os valores dos três pontos apresentaram uma variação semelhante com uma grande assimetria positiva, com valores concentrados acima da mediana.

Na Tabela 79, tem-se a correlação do sulfeto com cada fator climático.

Tabela 79 - *Correlação dos fatores climáticos com sulfeto*

Temperatura do ar	Velocidade do vento	Precipitação	Insolação
-0,14	0,93	-0,61	0,60

Fonte: Próprio autor, 2013

Observando os valores da tabela 79, pode-se concluir que a velocidade do vento é o fator que exerce maior influência sobre a concentração de sulfeto nas águas desse açude. Essa correlação é positiva, onde quanto maior a velocidade do vento, maior se apresenta o teor de sulfeto. Em razão do ASA ter uma baixa profundidade, o aumento da velocidade do vento pode ter provocado, a agitação da massa de água com a consequente ressuspensão e solubilização da matéria orgânica, que estava precipitada no fundo desse reservatório. Isso pode ter favorecido a ação das bactérias que reduzem o sulfato presente, a sulfeto.

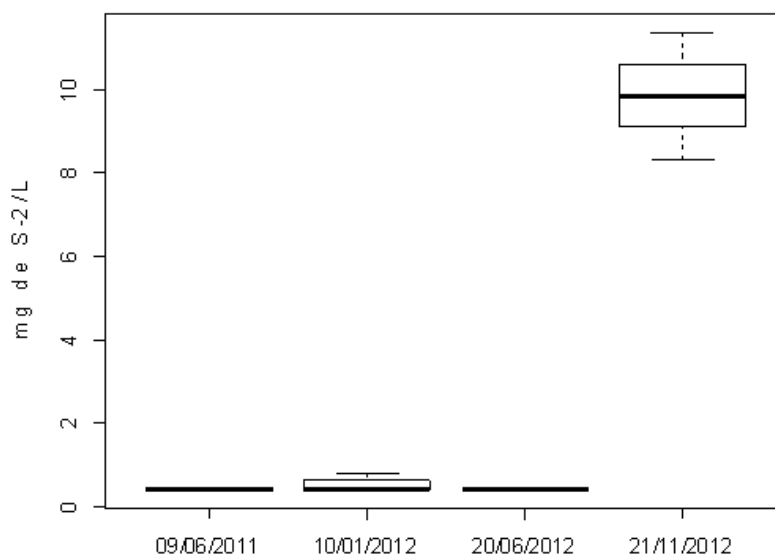
Tabela 80 - *Comparação de médias nas coletas pelo teste Tukey para sulfeto*

Grupo	Data	Médias
a	21/11/2012	9,85
b	10/01/2012	0,55
b	09/06/2011	0,42
b	20/06/2012	0,42

Fonte: Próprio autor, 2013

A coleta do dia 21/11/2012 foi a única que se mostrou estatisticamente diferente. No período que corresponde a essa coleta, também foram registrados os maiores valores na velocidade do vento, parâmetro climático que teve maior correlação com o teor de sulfeto no ASA.

Figura 48 - Boxplot de sulfeto por datas de coleta



Fonte: Próprio autor, 2013

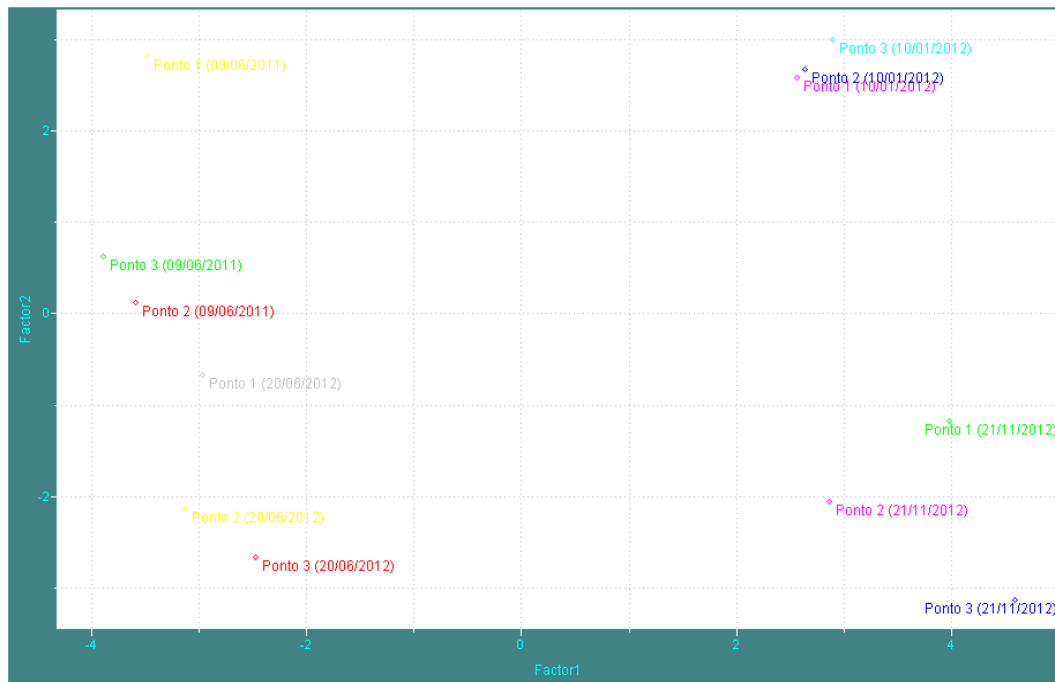
Com base na Resolução CONAMA 357/05, pode ser concluído que todos os valores analisados estão acima do padrão estabelecido, que é de, no máximo, 0,3 mg /L de S²⁻.

5.9 Estudo da sazonalidade pela análise dos componentes principais (PCA)

A análise dos componentes principais foi aplicada com objetivo de avaliar a sazonalidade dos parâmetros químicos, físicos e climáticos no ASA. Por PCA foi possível avaliar os efeitos de todas as variáveis simultaneamente, com todas as correlações existentes entre as amostras, nos três pontos do açude e nas quatro coletas realizadas durante a pesquisa.

A Figura 49 mostra um gráfico bidimensional de escores, com um total de 12 amostras. A análise permitiu descrever 76,3% da variância total dos dados com três componentes principais.

Figura 49 - Gráfico de escores (amostras)



Fonte: Próprio autor, 2013

Com base nos resultados, é possível observar a sazonalidade pelos agrupamentos formados pelas datas das coletas, fato evidenciado pelas divisões: período seco, com agrupamentos mais evidentes, formado pelas coletas dos dias 10/01/12 e 21/11/12 (lado direito) e período chuvoso, composto pelas coletas dos dias 09/06/11 e 20/06/12 (lado esquerdo).

Como pode ser observado na Figura 50, há uma similaridade (relação direta) entre as variáveis: velocidade do ar, insolação, DBO, DQO, sólidos totais e cloretos, pois elas tiveram elevado peso positivo, fazendo parte de um agrupamento observado no período seco.

O nitrogênio amoniacal e a precipitação tiveram elevado valor negativo, ficando também agrupados, representando o período chuvoso. Esse resultado ratifica o estudo estatístico, feito pelo teste de Tukey, que determinou a elevada sazonalidade desses parâmetros, que tivemos maiores valores no período seco. Isto significa que as referidas variáveis foram determinantes na sazonalidade do ASA.

Figura 50 - Gráfico de pesos (variáveis)



Fonte: *Próprio autor, 2013*

A discriminação entre as datas e pontos de amostragem está relacionada com a primeira componente principal (F1) que descreve 46,1% da variância total.

Observando a PC1 (Fator 1 da Tabela 81), as amostras relativas às coletas de 09/06/11 e 20/06/12 (estação chuvosa), apresentaram valores negativos e os períodos de coleta de 10/01/12 e 21/11/12 (período de estiagem), produziram valores positivos. Esse é mais um fator que mostra nitidamente a sazonalidade entre os períodos de coleta.

Também foi averiguado que os parâmetros nitrogênio amoniacoal, nitrogênio total e a turbidez tiveram inter-relação e maior influência na campanha do dia 09/06/2011. Essa conclusão foi obtida pela comparação entre as Figuras 49 e 50, pelo fato dessas variáveis estarem agrupadas na região do gráfico que corresponde à essa coleta. Enquanto que a precipitação foi determinante na coleta de 20/06/2012, bem como a coleta do dia 10/01/2012 foi fortemente influenciada pelas variáveis ortofosfato, condutividade, alcalinidade, fósforo total, nitrato e temperatura do ar. Todas as demais variáveis estudadas tiveram maior incidência na coleta do dia 21/11/12.

As variáveis que provocaram a sazonalidade no açude estão descritas na Tabela 81.

Tabela 81 - Valores de pesos obtidos na análise de componentes principais

Variáveis	Fator1	Fator2	Fator3
Temperaturadoar	0,174418	0,307562	-0,186526
Velocidade do vento	0,244253	-0,202280	0,078731
Precipitação	-0,284163	-0,007568	0,082346
Insolação	0,275324	-0,037372	-0,123264
pH	0,164886	-0,155804	-0,192451
OD	0,121477	-0,172269	-0,275274
Condutividade	0,122869	0,362984	-0,076036
DBO	0,240209	0,153504	0,028684
DQO	0,244971	-0,014599	0,106906
Alcalinidade	0,115712	0,268465	0,224990
Sólidostotais	0,261570	-0,054541	-0,091018
Nitrato	0,237918	0,157986	-0,193980
Fósforo total	0,226032	0,226714	0,095745
Nitrogênioamoniacal	-0,252374	0,054756	0,268107
Clorofila a	0,021886	-0,151389	0,332135
Cloreto	0,257472	-0,141379	0,139691
IET	0,118659	0,018271	0,377468
IQA	-0,110882	-0,293954	-0,327419
Nitrito	0,009688	-0,319888	-0,016643
Nitrogênio total	-0,127768	0,174490	-0,024052
Ortofosfato	0,122412	0,359397	-0,076018
Sulfeto	0,196852	-0,239954	0,239372
Turbidez	-0,184395	0,147075	0,287777

Fonte: Próprio autor, 2013

O uso de PCA serviu também para comprovar o estudo anterior da correlação dos fatores climáticos com os químicos e físicos. Na maioria dos parâmetros, houve conformidade entre os dois métodos estatísticos, com exceção do nitrogênio total, condutividade, alcalinidade, DBO e DQO.

O método estatístico multivariado é bastante usado nos trabalhos científicos relacionados à qualidade das águas dos corpos hídricos. Empregando essa técnica, Aprile e Farias [35], realizaram importante estudo na bacia hidrográfica do Rio Goiana, em Pernambuco durante nove anos. As variáveis estudadas foram: temperatura da água, pH, cor, turbidez, condutividade, cloreto, OD, DBO, coliformes fecais, fósforo total, nitrato e sólidos totais. Segundo os autores, por PCA foram obtidos duas componentes que explicaram 61,8% da variância total, com as quais foi possível demonstrar que os pontos de coleta se diferenciaram com relação a dois parâmetros principais: condutividade e sólidos totais. Os resultados mostraram que a qualidade das águas desse rio está comprometida, principalmente, pelo esgoto industrial de uma usina de açúcar e do esgoto doméstico originário dos municípios próximos.

5.10 Processo de assoreamento

Foram observados durante todas as campanhas, resíduos sólidos objetáveis virtualmente presentes, em desacordo com a Resolução CONAMA 357/05, que determina que esses resíduos devem estar virtualmente ausentes. O lixo que é lançado no ASA, rotineiramente, pela população que reside no seu entorno, é formado por materiais, que vão desde garrafas plásticas até mobílias domésticas. Uma grande parte desses sólidos se deposita no fundo do ASA contribuindo para o seu assoreamento.

Em decorrência do acúmulo desse resíduo sólido e de vegetação aquática, há uma aceleração dos processos de eutrofização e conseqüentemente do assoreamento, com isso o açude se tornará cada vez mais raso, até vir a desaparecer.

A urbanização reduz a capacidade de infiltração das águas no terreno. Quando chove as partículas de solo tendem a seguir para o fundo do açude, por causa do processo de erosão, com isso elas sedimentam, devido às baixíssimas velocidades de escoamento horizontal.

A sedimentação das partículas de solo e principalmente de resíduos sólidos oriundos de ações antrópicas, bem como o acúmulo de aguapés, que se desenvolvem próximos às margens, são responsáveis pelo assoreamento do ASA. Convém salientar que o açude tem o seu volume útil reduzido e a principal causa dessa redução é o acúmulo de detritos sólidos que são despejados às toneladas pela comunidade ribeirinha, como pode ser visto na Figura 51. [36]

De acordo com estudos sobre o processo de assoreamento, baseado em um mapeamento batimétrico, determinou-se no ano de 2011 uma profundidade máxima de 3,5 m no centro do açude, com um volume de 306.752 m³. Em 1918 (data da sua construção), essa medida era de 6 m com uma acumulação inicial de 508.000 m³. [36]

Sistematicamente, a Universidade realiza a limpeza desse corpo hídrico, onde são retirados os mais variados e imagináveis resíduos sólidos não biodegradáveis, como também as macrófitas, trabalho que funciona somente como um paliativo, já que a população que vive em seu entorno não recebe uma educação ambiental, com orientações para preservar esse recurso hídrico.

Figura 51 - Resíduos sólidos retirados na limpeza do ASA



Fonte: Projeto Açude Vivo, 2011

Ficou constatado que o ASA sangra o ano todo, evidenciando que ele recebe grande aporte de esgoto sanitário diariamente. Pelos cálculos, ficou comprovado que o volume do açude nos últimos anos tem sido reduzido de maneira notória, devido ao assoreamento, sendo o valor dessa redução de 10.008 m³, em média.

Assim conclui-se que a projeção do assoreamento é de uma perda anual de 0,124m³ e que pode ser previsto um total assoreamento desse açude em 13,5 anos, provavelmente em 2024 ou 2025, caso uma medida emergencial para conservá-lo, não seja tomada o mais rápido possível.

6 SUGESTÕES

6.1 Controle da eutrofização e assoreamento

A ocupação inadequada das áreas que circundam o ASA é a principal causa da poluição das suas águas. Isso resultana consequente perda da sua qualidade e deve culminar no total comprometimento desse ecossistema e todos os benefícios que esse corpo d'água oferece, como o clima diferenciado com temperaturas mais amenas, recreação e principalmente seus recursos pesqueiros, que é fonte de renda e alimento para algumas pessoas que habitam essa região.

Analisando esse quadro, pode-se concluir que não há mais tempo para medidas paliativas, o açude necessita de ações concretas e definitivas por parte das autoridades competentes.

Sabe-se que é preciso atingir o problema na sua origem, que é o despejo contínuo de esgoto doméstico e lixo, como estratégia para o controle da eutrofização e assoreamento. É necessário retirar as comunidades ribeirinhas do local dando-lhes uma moradia mais digna e segura. Ou se não for possível uma mudança tão drástica, pelo menos implantar um sistema de gradeamento na saída do canal, para contenção do lixo, com limpeza regular. Construir um sistema de saneamento para dar vazão ao esgoto sanitário, paralelamente realizar uma dragagem para retirar os resíduos sólidos que estão presos ao substrato, fazer também a retirada das macrófitas e posteriormente implantar um sistema de aeração. Essas são medidas verdadeiramente corretivas que resultarão, a longo prazo, na autodepuração do ASA.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises físicas, químicas e biológicas, nos cálculos de IET e IQA, no estudo da influência dos fatores climáticos sobre a qualidade do ASA e nas pesquisas dos estudos sobre o assoreamento, pode-se concluir que:

- Quanto à poluição orgânica, o ASA encontra-se contaminado, resultado creditado principalmente à DBO e ao OD, com valores acima e abaixo, respectivamente, dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.
- Quanto à poluição bacteriana, ficou determinado que a quantidade de coliformes termotolerantes está muito acima do valor estabelecido para a balneabilidade. De acordo com a resolução CONAMA 274/00, suas águas estão impróprias para a recreação de contato primário. Com relação a outros usos, também estão acima da quantidade padrão definida na Resolução CONAMA 357/05, ou seja, não é indicada para pesca ou dessedentação de animais.
- Os parâmetros que tiveram maior influência sobre o cálculo do IQA foram DBO, OD e fósforo total, variáveis que mostraram os piores resultados e, por isso, foram determinantes na degradação da qualidade do ASA. Verificou-se valor de IQA que variou de **bom a ruim**, na maioria dos pontos. Esse fato deve deixar toda a comunidade que usa esse açude, de maneira direta e/ou indireta, em estado de alerta.
- No tocante à poluição por nutrientes, somente o fósforo está em desconformidade com a resolução CONAMA nº 357, sendo esse parâmetro determinante no cálculo do IET.
- Quanto ao seu estado de eutrofização, foi determinado como **hipereutrófico** na maior parte das coletas, o pior índice da tabela de classificação. Isso pode acarretar inúmeras consequências negativas, como o envelhecimento precoce desse ecossistema aquático, com total esgotamento do oxigênio dissolvido no meio. Isso pode acarretar a morte de seres aquáticos que vivem nesse corpo hídrico, como também a proliferação de cianobactérias que podem contaminar os peixes, fazendo com eles não apresentem condições sanitárias pela bioacumulação de poluentes e eventuais cianotoxinas. Todos esses fatores podem culminar com o completo desaparecimento de toda a fauna e flora local.

- Na maioria dos parâmetros físicos e químicos, houve conformidade entre a sua relação com os fatores climáticos, determinada pelo estudo das correlações e pelo uso do PCA, com exceção do nitrogênio total, condutividade, alcalinidade, DBO e DQO.
- No que diz respeito à sazonalidade, o uso do PCA ratificou o estudo estatístico realizado pelo teste de Tukey, que determinou a elevada sazonalidade dos parâmetros: velocidade do ar, insolação, DBO, DQO, sólidos totais e cloretos, que tiveram os maiores valores no período seco. Isto significa que as referidas variáveis tiveram elevada variabilidade temporal e foram determinantes na sazonalidade do ASA.
- Quanto à variação espacial, pelos testes de Tukey, em quase todos os parâmetros não foi observada significativa diferença entre os pontos de coleta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <<http://www.portalbrasil.gov.br>>, acesso em 15/05/2011.
- [2] <<http://www.cogerh.com.br>>, acesso em 05/2011 e 02/13.
- [3] Assembléia Legislativa do Estado do Ceará. **Cenário Atual dos recursos hídricos do Ceará / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembléia Legislativa do Estado do Ceará**; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). Fortaleza: INESP,. 174p. : il. – (Coleção Pacto das Águas), 2008.
- [4] BRANDÃO, R. de L. **Sistema de informações para gestão e administração territorial da região metropolitana de fortaleza- Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da região metropolitana de Fortaleza**: Fortaleza: CPRH, 1995.
- [5] OLIVEIRA, G. M. **Aspectos Limnológicos do Açude Santo Anastácio, Fortaleza, Ceará, Brasil – Estudos Físico-Químicos**. Monografia de Graduação, Fortaleza, 1975.
- [6] **Resolução CONAMA Nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. DOU Nº53, Brasília.
- [7] LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo. Tese (Doutorado). Instituto de Biociências. USP. 238p. 2004.
- [8] DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**, 3ª. Ed. São Paulo: Sigmus Editora, 2007.
- [9] VON SPERLING, M. **Estudos e Modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.
- [10] FARIAS, D.B.A. **Monitoramento do açude Santo Anastácio, Campus do Pici**. Monografia de graduação. Fortaleza 2008.
- [11] FERNANDES, E. G. **Contribuição ao estudo limnológico do Açude Santo Anastácio (Fortaleza, Ceará, Brasil), no período de setembro a novembro de 1978 – Estudos físicos e químicos**. Dissertação de graduação do DEP-UFCI, 1978. 22 p. (mimeografado)
- [12] BORGES, J.L. **Exames químicos e bacteriológicos do açude Santo Anastácio em Fortaleza, Ceará, Brasil**. Dissertação de graduação DEP – UFC, Fortaleza, 1978. 22p (mimeografado).
- [13] PEREIRA, A. J. C. Q. **Considerações sobre a sedimentação e processos de assoreamento do açude Santo Anastácio, em Fortaleza, Ceará, Brasil**. Dissertação de Graduação, Fortaleza, 1981.

- [14] KLEIN, V. L. M. **"Standing Crop" e Produtividade Primária da Água do Açude Santo Anastácio (Fortaleza-Ceará), no período de Abril a Junho de 1986.** Ciên.Agron., Fortaleza, 18 (2): pág. 7 – 14.dezembro1987.
- [15] GURGEL, J. J. S. **Mortandade Maciça de Peixes no Açude Santo Anastácio (Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil), Provocada por Perturbações Atmosférica – 1993.**CiênAgron, Fortaleza, 24 (1/2) pág.52-56. Junho/Dezembro, 1993.
- [16] LIMA, A. M. A. de.**Variação da Matéria Orgânica Dissolvida no Açude Santo Anastácio (Campus do Pici), em Fortaleza – Ceará.** Monografia de Graduação 1996.2.
- [17] FIGUEIREDO, E. M. C. de **Estudo da poluição orgânica do açude Santo Anastácio (Campus do Pici), com vistas ao uso de sua água na Aqüicultura.** Monografia de Graduação. Fortaleza, 1999
- [18] LIMA, J. O. G. de, SANTIAGO, M. M. F., FILHO, J. M., FRISCHKORN, H. **Evolução Temporal das Concentrações de Espécies Químicas Presentes nas Águas Armazenadas no Açude Santo Anastácio no Campus do Pici-Fortaleza-Ceará.**XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2005.
- [19] **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21.ed. Washington, DC, EUA: American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF), 2005.
- [20] SPIEGEL, M. R. **Estatística (3ª Edição)** - São Paulo: Pearson Makron Books, 1993. (Coleção Schaum).
- [21] FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M.S., VOLPE, P.L.O.**Quimiometria I; calibração multivariada, um tutorial.** Química Nova. 22(5): 724-731.1999
- [22] **Mapa de Observação Meteorológica;** FUNCEME - Instituto Nacional de Meteorologia. Estação Fortaleza. ano 2011 e 2012.
- [23] SILVA, S. A. & OLIVEIRA, R. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias.** Campina Grande, Paraíba,2001.
- [24] OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P., MEDEIROS, Y. D. P. **Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano, estudo de caso: bacia hidrográfica do rio salitre;** Química nova, vol. 33. No. 5, 1059-1066, 2010.
- [25] CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 274** de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras - Resolução CONAMA. Disponível em: <<http://www.gov.br/conama>> Acesso em: 04/2013
- [26] LEMOS, W. E. D.**Monitoramento e gestão da qualidade da água em reservatórios incorporando processos hidrodinâmicos e climáticos de regiões**

tropicais semiáridas. Dissertação em Engenharia Civil; Saneamento ambiental; Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

[27] OLIVEIRA, L. P. F. **Caracterização Limnológica das Lagoas do Sal de Pirapueira e de Dentro - Planície Costeira do Município de Beberibe - CE.** Dissertação de Mestrado. Geologia-UFC. Fortaleza, 2005.

[28] PACHECO, C. H. A. **Dinâmica espacial e temporal de variáveis limnológicas e sua influência sobre as cianobactérias em reservatório eutrofizado: açude Acarape do Meio-Ce;** Dissertação em Engenharia Civil; Engenharia Recursos Hídricos e Sanitária, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

[29] BRAGA, E.S.A. **Determinação dos compostos inorgânicos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fósforo total, na água do açude gavião, e sua contribuição para a eutrofização.** Dissertação de mestrado. Engenharia Civil-UFC. Fortaleza, 2006.

[30] FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização.** Engenharia Sanitária Ambiental; v.12 (4). out/dez 2007, p399-409.

[31] WENGRAT, S., BICUDO, D. de C. **Avaliação espacial da qualidade da água em reservatório urbano (Complexo Billings, sudeste do Brasil).** *Acta Limnol. Bras.* [online]. 2011, vol.23 (2).

[32] ALMEIDA, V. L. S. et al. **Comunidade zooplancônica de seis reservatórios no nordeste do Brasil.** *Braz. J. Biol.* , 2009, vol.69 (1), p. 57-65.

[33] VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** DESA-UFMG. 1996.

[34] PIAZENTIN et al. **Índice de Qualidade da Água (IQA) do Reservatório Tanque grande, Guarulhos (sp): análise sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo,** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, (3) p. 305-317, 2009.

[35] APRILE, F. M., FARIAS, V.P. **Avaliação da qualidade da água da Bacia do Rio Goiana, Pernambuco-Brasil.** *Bioikos*, v. 15, (2) 2012.

[36] LIMA, F. P. **Avaliação do processo de assoreamento do açude Santo Anastácio-Fortaleza/CE.** Monografia de graduação, 2011.

ANEXOS

ANEXO A - Açúdes hipereutrofizados do Ceará

Açúde	Ponto	Data	[pt]	cl@	Classe
FAVELAS	FAV-01	22/05/2012	0.068	0.20	Hipereutrónica
COLINA	COL-01	24/04/2012	0.762	1671.40	Hipereutrónica
REALEJO	REA-01	25/04/2012	0.071	51.80	Hipereutrónica
POTIRETAMA	POT-02	08/05/2012	0.053	10.68	Hipereutrónica
FRIOS	FRI-01	21/06/2012	0.441	27.06	Hipereutrónica
SALÃO	SAL-01	03/05/2012	0.328	278.21	Hipereutrónica
MONS. TABOSA	MNT-01	30/05/2012	0.138	151.70	Hipereutrónica
PIRABIBU	PRB-01	17/05/2012	0.053	87.78	Hipereutrónica
VIEIRÃO	VIE-02	09/05/2012	0.059	30.04	Hipereutrónica
FOGAREIRO	FOG-01	17/05/2012	0.069	74.43	Hipereutrónica
TRAPIÁ II	TR2-01	05/06/2012	0.011	18.69	Hipereutrónica
CAPITÃO MOR	COM-01	20/06/2012	0.057	76.43	Hipereutrónica
BENGUÊ	BEN-01	18/04/2012	0.014	16.55	Hipereutrónica
DO CORONEL	DOC-01	18/04/2012	0.014		Hipereutrónica
CANOAS	CAN-02	26/04/2012	0.014	20.29	Hipereutrónica
FAVELAS	FAV-01	22/05/2012	0.068	0.20	Hipereutrónica

Fonte: COGERH, 2013

ANEXO B - Resumo do estudo estatístico dos parâmetros analisados para avaliação da poluição orgânica.

Parâmetros	Correção	09/06/11			10/01/12			20/06/12			21/11/12			CONAMA357/05
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Cl	Vel. Vento(+)	104,0	94,7	96,8	149,5	149,5	154,3	87,4	95,6	121,3	236,5	231,3	245,7	<250 mg/L Cl
DBO	Prec.(-)	12,6	7,41	9,00	15,90	17,08	16,09	13,70	7,70	8,70	16,78	14,18	14,82	<10mg/L O ₂
DQO	Prec.(-)	60,52	47,76	49,58	79,50	76,86	75,62	68,21	53,36	60,78	90,47	60,78	97,89	-
OD (V. E.)	Vel. Vento(+)	0,02	3,90	3,28	3,40	4,50	4,40	3,60	3,37	3,44	0,40	7,21	8,37	>4mg/LO ₂

a
 b
 c

V. E. – variação espacial

Obs. 1: De acordo com o teste de Tukey, as células com as mesmas cores (mostradas nas letras a, b e c), apresentam médias estatisticamente iguais e as representadas com cores diferentes, são estatisticamente diferentes, com nível de significância de 5%, assim sendo, a sazonalidade (variação temporal) com relação ao parâmetro analisado, pode ser observada, se as médias das coletas realizadas no período de chuva forem estatisticamente iguais entre si e estatisticamente diferentes das médias das coletas realizadas no período de estiagem.

Obs. 3: O sinal (+) significa que o fator climático teve uma correlação com proporcionalidade direta com relação à variável limnológica.

Obs. 4: O sinal (-) significa que o fator climático teve uma correlação com proporcionalidade inversa com relação à variável limnológica.

Obs. 5: Os valores escritos em vermelho estão em desconformidade com a resolução CONAMA 357/05.

ANEXO C - Resumo do estudo estatístico dos parâmetros analisados para avaliação da poluição por nutrientes e clorofila a.

Parâmetro	correção	09/06/11			10/01/12			20/06/12			21/11/12			CONAMA 357/05 Valor máx.
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
NH _{3,4}	Prec.(+) Ins.(-)	2,19	1,41	1,29	0,27	0,23	0,26	0,96	1,07	0,94	0,34	0,38	0,19	5,6 mg/L N
NO ₂ ⁻	-	0,12	0,11	0,14	0,21	0,08	0,09	0,18	0,34	0,23	0,23	0,24	0,22	1,0 mg/L N
NO ₃ ⁻	Temp.(+)	0,49	0,50	0,58	1,45	1,75	1,63	0,33	0,52	0,89	1,15	1,11	1,06	10 mg/L N
N-total	Vel.V.(-)	6,49	1,93	3,39	3,80	3,75	4,11	6,49	3,53	3,88	1,65	2,31	2,57	-
P-total.	Temp.(+) Prec.(-)	1,94	0,86	0,77	2,67	2,33	2,62	0,86	1,15	0,35	2,13	1,99	1,89	0,075 mg/L P
PO ₄ ³⁻	Temp.(+)	0,26	0,24	0,21	0,44	0,39	0,52	0,22	0,13	0,03	0,20	0,20	0,19	-
CHL	Insol.(+)	49,93	71,91	1,56	24,76	3,60	30,44	26,52	27,77	45,52	32,96	5,49	108,17	60 µg/L

 a

 b

 c

ANEXO D - Resumo do estudo estatístico dos parâmetros analisados para o cálculo do IQA.

Parâmetros	Correção	09/06/11			10/01/12			20/06/12			21/11/12			CONAMA 357/05 Val. Máx.
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Temp. Am.	Prec.(-)	25,32	24,72	25,57	27,19	27,38	27,89	24,83	23,45	24,10	28,22	28,75	29,00	-
pH	Insol.(+)	7,05	7,39	7,34	7,38	7,55	7,42	7,67	7,22	7,36	7,51	7,55	7,70	6,0 a 9,0
ST	Prec.(-) Insol.(+)	140,0	30,0	50,0	520,0	520,0	580,0	310,0	320,0	400,0	640,0	520,0	580,0	500 mg/L
Turb.	Prec.(+) Insol.(+)	42,0	25,3	25,2	20,0	18,0	18,0	34,0	22,0	18,0	23,2	20,3	10,8	100 UNT;



a



b



c

**ANEXO E - Resumo do estudo estatístico dos parâmetros analisados para
avaliação da poluição de um modo geral.**

Parâ- metros	Corre- lação	09/06/11			10/01/12			20/06/12			21/11/12			CONAMA 357/05 Val. Máx.
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Cond.	Vel. V. Insol.(+)	632	583	575	914	910	928	283	280	344	463	486	488	-
Alcal. total.	Prec.(-) Insol.(+)	164,2	147,4	143,5	151,2	148,8	154,8	44,8	31,8	34,9	130,2	137,1	130,8	-
S ²⁻	Vel. V.(+)	0,42	0,42	0,42	0,42	0,83	0,42	0,42	0,42	0,42	9,86	8,34	11,37	0,3 mg/L S

a
 b
 c
 d