



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL – DEHA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

FRANCISCO RODRIGUES PESSÔA DOS SANTOS JÚNIOR

**ESTUDO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DO RESERVATÓRIO
ACARAPE DO MEIO COM ÊNFASE EM CIANOBACTÉRIAS**

FORTALEZA
2014

FRANCISCO RODRIGUES PESSÔA DOS SANTOS JÚNIOR

**ESTUDO DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA DO RESERVATÓRIO
ACARAPE DO MEIO COM ÊNFASE EM CIANOBACTÉRIAS**

Dissertação apresentada à coordenação do curso de Mestrado Profissional em Gestão dos Recursos Hídricos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Gestão de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Capelo Neto

Coorientador: Dr. Silvano Porto Pereira

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- S235e Santos Júnior, Francisco Rodrigues Pessoa dos.
Estudo da comunidade fitoplanctônica do reservatório Acarape do Meio com ênfase em Cianobactérias / Francisco Rodrigues Pessoa dos Santos Júnior. – 2014.
116 f. : il. color. , enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Mestrado Profissional em Gestão de Recursos Hídricos, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Recursos Hídricos.
Orientação: Prof. Dr. José Capelo Neto.
Coorientação: Prof. Dr. Silvano Porto Pereira.
1. Recursos Hídricos. 2. Eutrofização. 3. Aquíferos. 4. Fitoplâncton. I. Título.

Francisco Rodrigues Pessôa dos Santos Júnior

Estudo da Comunidade Fitoplanctônica do Reservatório Acarape do Meio com
ênfase em Cianobactérias

Dissertação apresentada à coordenação do curso de Mestrado Profissional em Gestão dos Recursos Hídricos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Gestão de Recursos Hídricos.

Aprovada em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Capelo Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Silvano Porto Pereira
Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE)

Aos meus pais Francisco (in memorum)
e Aila.

A minha esposa Soraya e filhas, Caroline
e Natália.

Aos Meus irmãos Segismundo (“in
memoriam”), Galdino, José Luis e Nair.

AGRADECIMENTO

A Deus, pelo dom da vida e que sempre me fortalece para vencer as dificuldades imposta pela vida.

Aos meus verdadeiros HERÓIS, a quem eu me espelho: Francisco (Chico) (“in memoriam”), meu pai e Aila, minha mãe.

A Soraya, minha "nêga linda e cheirosa", pela compreensão, amor, dedicação, cumplicidade e respeito que temos um com o outro, que vem fortalecendo cada vez mais a nossa relação. As minhas filhas Caroline e Natália meus xodós e alegria de minha vida.

Aos meus irmãos, Segismundo (“in memoriam”), Galdino, José Luis e Nair, pela grande amizade, fraternidade, respeito e carinho que temos um pelo outro.

Ao Prof. Dr. José Capelo Neto, meu Orientador, não só pela sua atenciosa orientação na realização desta pesquisa, mas também pelo incentivo e atenção a mim dedicado.

Ao colega Disney Paulino, gerente da GEDOP da COGERH, pela cessão dos dados para a realização deste trabalho, bem como pela sua presteza e prontidão.

Aos colegas de trabalho Humberto Oliveira, Pedro Florindo, Fracimeyre Freire Alves Neto, Bruno Rebouças e Berthyer Peixoto pelas contribuições importantes acrescidas a este trabalho.

Aos professores e colegas do Mestrado Profissional em Gestão dos Recursos Hídricos pelo ambiente sempre alegre e descontraído, que facilitou em muito a absorção dos conhecimentos transmitidos.

Quero expressar os meus agradecimentos e parabenizar a Secretaria dos Recursos Hídricos, através de seu secretário, o Sr. César Pinheiro e a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos-COGERH, através do ex-presidente, Francisco Teixeira, do atual Presidente Sr. Rennys da Frota, do Diretor de Operação, Sr. Ricardo Adeodato e do Diretor de Planejamento, Sr. João Lúcio, por terem fomentado a participação dos técnicos nesta oportunidade ímpar que é um mestrado. Visualizando que, o investimento no conhecimento é que faz crescer uma instituição.

D. Teresinha Alves, pela presteza, carinho e alegria sempre demonstrada ao ser contactada, fazendo com que surgisse naturalmente uma amizade.

Ao Dr. Silvano Porto Pereira, por ter aceitado ser Co-Orientador, contribuindo em muito com orientações e sugestões, essenciais para o resultado final deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Osny Enéas da Silva por aceitar participar da banca, tendo contribuído com relevantes sugestões.

Esses microrganismos (cianobactérias) estão aqui há pelo menos 3 bilhões de anos." os lagos não eram cristalinos, mas sim como um "sopão" de matéria orgânica. E parece que estamos voltando a esse "sopão.

RESUMO

A qualidade da água de um reservatório está condicionada a todos os fatores naturais e antrópicos que agem na sua bacia hidrográfica. O estado do Ceará desde o final da década de 80 adotou uma política de construção de obras de reservação hídrica, voltadas a preencher os chamados vazios hídricos. O que se tem observado, é que as águas destes açudes, bem como os anteriormente construídos, vem sofrendo um processo de deterioração de suas águas, ocasionado principalmente pelo processo de eutrofização, onde as ações antrópicas são as causas principais. A eutrofização ocasiona uma série de mudanças na massa de água de um sistema hídrico, sendo a mais relevante o surgimento de floração de cianobactérias, podendo alguns destes organismos, serem capazes de produzir toxinas, denominadas de cianotoxinas, as quais são capazes de ocasionar doenças e, em casos extremos, o óbito de seres humanos e animais. Este trabalho foi realizado no açude Acarape do Meio, localizado no município de Redenção-CE, com o objetivo de analisar durante o período de Maio de 2012 a Maio de 2013, a comunidade fitoplanctônica do citado reservatório com ênfase em cianobactérias. Foram identificados 49 táxons distribuídos em 07 classes, dentre as Cianobactérias representaram 40 %. Apesar da existência do bom número de táxons de algas, estas variaram entre 2,16% (maio/2012) e 0,34% (junho/2012) dos organismos quantificados no reservatório, enquanto as cianobactérias estiveram presentes em todas as amostragens, variando entre 97,84% (maio/12) a 99,66% (junho/12), dominando quantitativamente o ambiente aquático. A espécie dominante em todas as amostragens foi a cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii*, chegando a atingir uma densidade média no mês de abril de 1.121.328 cél. mL⁻¹. Quanto ao IET, este apontou que o manancial estava hipereutrificado. Quando a densidade de cianobactérias foi correlacionada aos períodos chuvosos e secos e aos macronutrientes (nitrogênio e fósforo), havendo uma correlação positiva com a sazonalidade, e uma fraca correlação com o nitrogênio e o fósforo, provavelmente, ocasionada pela alta taxa destes macronutrientes presentes durante o período de estudo.

Palavras-chave: Reservatórios. Eutrofização. Fitoplanctônica. Cianobactérias. *Cylindrospermopsis raciborskii*.

ABSTRACT

The water quality from a reservoir is subject to all natural and anthropogenic factors acting in its watershed . The state of Ceará since the late 80s has adopted a policy of construction of water reservation to fulfill the so-called hydric emptiness. It has been observed that the waters of these new lakes, as well as the previously constructed , is experiencing a process of deterioration, mainly caused by eutrophication. The eutrophication causes a series of changes in the water system, the most relevant being the cyanobacteria blooms. Some of these organisms may be capable of producing toxins, termed cianotoxins , which are able of causing diseases and, in extreme cases, humans and animals death. This work was performed at the Acarape do Meio reservoir, located in the municipality of Redenção - Ceará. Phytoplankton community data, with emphasis on cyanobacteria, was analyzed during the period of May 2012 to May 2013. 49 taxa distributed into 07 classes , Cyanobacteria representing 40 % , were identified. Despite the elevated number of taxa of algae, total quantity of these organisms ranged from 2.16 % (May/2012) to 0.34 % (June/2012) while cyanobacteria were present in all samples, ranging between 97.84 % (May/12) to 99.66% (junho/12), quantitatively dominating the aquatic environment . The dominant species in all samples was the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*, reaching an average density in April, 2012 of 1.121.328 cel.mL⁻¹. As for the Trophic State Index, it pointed out that the reservoir was eutrophic . When the density of cyanobacteria was correlated with rainy periods and macronutrients , it showed a strong positive correlation with seasonality but a weak correlation with nitrogen and phosphorus, probably caused by the high quantities of these macronutrients present during the study period.

Key - words: Artificial Reservoirs; eutrophication ; phytoplankton ; cyanobacteria ; *Cylindrospermopsis raciborskii* .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Cylindropermopsis raciborskii</i> – (A) reta e (B) espirilada.....	16
Figura 2 - <i>Pseudoanabaena Catenata</i>	18
Figura 3 - <i>Merismopedia sp</i>	19
Figura 4 - <i>Planktothrix agardhii</i>	20
Figura 5 - <i>Oscillatoria sp</i>	21
Figura 6 - Localização do açude Acarape do Meio	28
Figura 7 - Sistema de adução a partir do açude Meio Acarape.....	29
Figura 8 - Localização dos pontos de coleta no açude Acarape do Meio	34
Figura 9 - Classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica do açude Acarape do Meio durante o período de maio/12 a maio/13.....	40
Figura 10 - Distribuição mensal dos táxons durante o período (maio/12 a maio/13) de estudo no açude Acarape do Meio.....	41
Figura 11- Representação quantitativa das cianobactérias do açude Acarape do Meio no período de amostragem compreendida de maio/12 a maio/13.....	45
Figura 12 - Representação quantitativa das outras algas do açude Acarape do Meio no período de amostragem compreendida de maio/12 a maio/13.....	46
Figura 13 - Comportamento quantitativo da <i>Cylindropermopsis raciborskii</i> no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.....	48
Figura 14 - Comportamento quantitativo da <i>Pseudoanabaena sp.</i> no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.....	50
Figura 15 - Comportamento quantitativo da <i>Pseudoanabaena Catenata</i> no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013...	51

Figura 16 - Comportamento quantitativo da <i>Merismopedia sp</i> no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.....	52
Figura 17 - Comportamento quantitativo da <i>Planktothrix agardhii</i> no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.....	53
Figura 18 - Comportamento quantitativo da <i>Oscilatória</i> no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.....	54
Figura19 - Mostrando o comparativo entre a chuva medida no posto de Redenção de maio /12 a maio/13 e a sua série histórica para o mesmo período no açude Acarape do Meio.....	55
Figura 20 - Mostrando o comportamento volumétrico e linear do açude Acarape do Meio.....	56
Figura 21 - Correlação entre precipitação e concentração de cianobactéria no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	57
Figura 22 - Correlação entre precipitação e concentração de algas no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	57
Figura 23 - Relação entre precipitação e concentração de cianobactéria no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	58
Figura 24 - Relação entre precipitação e concentração de algas no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	58
Figura 25 - Correlação entre cianobactéria e nitrogênio no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	60
Figura 26 - Correlação entre algas e nitrogênio no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	60
Figura 27 - Relação entre cianobactéria e nitrogênio total no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	61
Figura 28 - Relação entre algas e nitrogênio total no período de maio/13 no açude Acarape do Meio.....	61

Figura 29 - Correlação entre cianobactéria e fósforo total no período de maio/13 no açude Acarape do Meio.....	63
Figura 30 - Correlação entre algas e fósforo total no período de maio/13 no açude Acarape do Meio.....	64
Figura 31 - Relação entre cianobactéria fósforo total no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	65
Figura 32 - Relação entre algas e fósforo total no período de maio/2012 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	66
Figura 33 - Correlação entre cianobactéria e a razão N/P no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	67
Figura 34 - Correlação entre algas e a razão N/P no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.....	67
Figura 35 - Relação entre cianobactéria e a razão N/P no período de maio/12 maio/13 no açude Acarape do Meio.....	68
Figura 36 - Relação entre alga e a razão N/P no período de maio/12 a Maio/13 no açude Acarape do Meio.....	69
Figura 37 - Índice de estado trófico do reservatório Acarape do Meio, no período de maio/12 a maio/13, segundo Carlson (1977) modificado por Toledo et. al. (1984).	70
Figura 38 - Índice de estado trófico do reservatório Acarape do Meio, no período de maio/12 a maio/13, segundo Lamparelli (2004).....	70
Figura 39 - Relação entre a densidade celular mensal apresentada pelas cianobactérias durante o período de maio/2012 a maio/2013 no açude Acarape do meio e os limites máximos de densidade celular contidas na classe 3,da Resolução CONAMA 275 e Portaria 2.914 do ministério da Saúde.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores limites, contida na CONAMA 375/2005, para a densidade de cianobactérias, objetivando disciplinar o monitoramento, compor classes de qualidade para os mananciais e estabelecer restrições aos usos.....	23
Tabela 2 - Ficha técnica simplificada do açude Acarape do Meio	30
Tabela 3 - Estimativa das emissões de nutrientes geradas pelas fontes pontuais e difusas levantadas pelo IVA do açude Acarape do Meio.....	32
Tabela 4 - Contendo a localização e descrição dos pontos amostrados no açude Acarape do Meio, durante a pesquisa neste reservatório.....	34
Tabela 5 - Critérios para determinar o nutriente limitante	36
Tabela 6 - Classificação do Estado Trófico desenvolvido por Carlson e adaptado por Toledo	38
Tabela 7 - Classificação do Estado Trófico desenvolvido por Carlson adaptado Lamparelli.....	39
Tabela 8 - Distribuição dos táxons identificados no açude Acarape Medio, Redenção – CE, durante o período de estudo (maio/12 a maio/13). A letra "x" indica a presença de táxon e o sinal " -" indica a ausência de táxon.....	42
Tabela 9 - Cálculo mensal da razão N:P, referente ao período de pesquisa no açude Acarape do Meio.....	62

LISTA DE SIGLA

CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFB	The Center for Freshwater Biology
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos hídricos
EQAT	External Quality Assessment Trials Phytoplakton
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia
GEDOP	Gerência de Desenvolvimento Operacional
IVA	Inventário Ambiental
IET	Índice de Estado Trófico
LPS	Lipopolissacarídeos
MS	Ministério da Saúde
N	Nitrogênio
NNE	Norte/Nordeste
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NT	Nitrogênio Total
P	Fósforo
PT	Fósforo Total
SSW	Sul/Sudoeste

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVO.....	2
1.1.1	Objetivo Geral.....	2
1.1.2	Objetivo Específico.....	3
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.3	Açude.....	4
2.2	Eutrofização.....	5
2.3	Cianobactérias.....	8
2.4	Cianotoxina.....	9
2.4.1	Neurotoxinas	11
2.4.1.1	Anatoxina-a.....	12
2.4.1.2	Anatoxina(s).....	12
2.4.1.3	Saxitoxinas.....	12
2.4.2	Hepatotoxinas.....	13
2.4.2.1	Microcistinas.....	13
2.4.2.2	Cilindrospermopsina.....	14
2.4.2.3	Nodularina.....	14
2.4.3	Lipopolissacarídeos (LPS).....	15
2.5	As cianobactérias tratadas neste trabalho.....	15
2.5.1	<i>Cylindrospermopsis Raciborskii</i>	15
2.5.2	<i>Pseudanabaena Catenata</i>	17
2.5.3	<i>Merismopedia sp</i>	18
2.5.4	<i>Planktothrix agardhii</i>	19
2.5.5	<i>Oscilatória sp</i>	21
2.6	Legislação vigente no Brasil voltada para Cianobactéria.....	22

2.7	Macronutrientes.....	25
2.7.1	Nitrogênio.....	25
2.7.2	Fósforo.....	26
2.7.3	Nutriente Limitante e Razão Nitrogênio/Fósforo (N/P).....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1.1	Área de Estudo.....	28
3.2	Características de usos na bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio.....	30
3.3	Características Geoambientais.....	32
3.4	Amostragem.....	33
3.5	Tratamento estatístico e apresentação gráfica dos resultados.....	34
3.6	Dados de Chuvas.....	35
3.7	Cálculo da razão Nitrogênio e Fósforo (N/P).....	35
3.8	Índice de Estado Trófico – IET.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Classe das Cianobáctéria.....	46
4.1.1	<i>Cylindropermopsis Raciborskii</i>	46
4.2	Influência de chuvas na composição da comunidade fitoplanctônica.....	54
4.2.1	Comunidade Fitoplanctônica X Chuvas.....	56
4.3	Influência de nutriente na composição da comunidade fitoplanctônica.....	59
4.4	Índices de Estado Trófico.....	69
4.5	Cianobactérias e a legislação Brasileira.....	71
5	CONCLUSÕES.....	74
6	RECOMENDAÇÕES.....	76
7	BIBLIOGRAFIA.....	77

ANEXO

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará contém grande parte do seu território inserido no semiárido nordestino, região esta, que tem por característica climática, a má distribuição das chuvas, no espaço e no tempo, e concentradas num período curto do ano, geralmente quatro meses (fevereiro a maio). Associado a este fator climático, ocorre que 75% do substrato rochoso do Estado do Ceará, está assentado em rochas cristalinas, que formam geralmente aquíferos de baixa produtividade de água, e quase sempre salinizados. Ao se decomporem, este tipo litológico resulta em solos rasos, que são ineficientes no acúmulo da água. A conjunção destes fatores, ou seja, climático e geológico, conforme Cirilo *et al.* (2010) tem por consequência, baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente, o que resulta em uma densa rede de rios intermitentes.

Neste cenário, a água torna-se difícil de ser conseguida, tanto superficialmente como em profundidade. Diante dessa situação, a solução encontrada para a obtenção da água foi à construção de açudes, tendo por principal objetivo armazenar água no período chuvoso para ser utilizada no período de estiagem.

Em 1886, Dom Pedro II determinou a construção do primeiro açude público, o açude do Cedro, em Quixadá, no Ceará. Vinte anos depois, a obra foi inaugurada, já na Primeira República. Três anos depois, em 1909, foi criada a Inspeção de Obras Contra as Secas - IOCS, que depois virou IFOCS e finalmente se transformou em DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas). O DNOCS construiu centenas de açudes em todos os estados (CGEE, 2008).

Para preencher os chamados vazios hídricos existentes no Estado do Ceará, o Governo estadual, começou a partir dos anos 90, a construção de açudes estratégicos, através dos programas, PROURB (Projeto de Desenvolvimento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos), PROAGUA (Subprograma de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos do Semiárido Brasileiro) e PROGERIRH (Projeto de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Ceará), priorizando o abastecimento humano e a irrigação. Também na década noventa teve início a implantação da política estadual de gestão dos recursos hídricos.

Segundo Teixeira (2003) antecipando-se à União, o Governo do Estado

do Ceará, que criou a Secretaria dos Recursos Hídricos em 1987, promulgou a Lei Nº 11.996, em 1992, dispondo sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e instituindo o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos. No ano seguinte, em 1993, através da Lei Nº 12.217, foi criada a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, com a função de operacionalizar o gerenciamento dos recursos hídricos no território estadual.

A COGERH gerencia atualmente no estado 144 açudes, sendo 75 do estado e 64 do DNOCS, além de 2 particulares e 3 municipais perfazendo um total de armazenamento de 18.516.989.284 m³.

Pode-se observar que no Estado do Ceará, através das políticas públicas direcionadas para os recursos hídricos, como a criação de instituições e leis voltadas para estes recursos, ocorreu um grande avanço da gestão de oferta, bem como o seu controle quantitativo. O maior desafio atualmente concentra-se na gestão da qualidade, tendo em vista que as atividades antrópicas (esgotos domésticos e industriais, geração de resíduos sólidos, uso de insumos agrícolas e pecuária em torno dos reservatórios) estão gerando uma crescente eutrofização dos ambientes aquáticos, tendo por consequência a degradação dos principais mananciais do Estado. Um dos aspectos mais importante desta conservação é a manutenção da qualidade da água. De muito pouco adianta ter água se esta não puder ser utilizada (Lima, 2007).

Este estudo de caso foi realizado no açude Acarape do Meio, localizado no município de Redenção e sendo um dos 144 açudes gerenciados pela COGERH. Este manancial é estratégico para o Estado do Ceará, pois as suas águas são utilizadas para o abastecimento de parte da região metropolitana de Fortaleza, bem como, nas indústrias localizadas no distrito industrial de Maracanaú.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo Geral*

Avaliar a dinâmica da comunidade fitoplanctônica do açude Acarape do Meio, com ênfase nas cianobactérias.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar quantitativamente e qualitativamente a comunidade fitoplanctônica.
- Avaliar a influência das precipitações na composição da comunidade fitoplanctônica.
- Avaliar a influência dos nutrientes na composição da comunidade fitoplanctônica.
- Estimar o índice de estado trófico do reservatório utilizando os modelos propostos por Carlson, (1977) modificado por Toledo *et al.*, (1983) e Lamparelli, (2004).
- Verificar a densidade celular da comunidade fitoplanctônica, com ênfase nas cianobactérias, em relação a Portaria/MS/2011 n° 2.914 e as Resoluções CONAMA 374/2000 e 375/2005.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Açude

O nome açude é originado da palavra árabe AS-SUDD, que significa obstrução, represa e barragem (REBOUÇAS, 2002). Um açude é construído para uma determinada ou várias finalidades como: abastecimento de água, regularização da vazão de rios, obtenção de energia elétrica, irrigação e navegação.

No Brasil, as represas e açudes são formados principalmente pelo represamento de rios, para atender os seguintes objetivos: abastecimento de águas, regularização de cursos, obtenção de energia elétrica, irrigação, navegação, recreação, entre outros. Os lagos artificiais brasileiros, formados por represamentos de rios, recebem diferentes denominações, tais como: represas, reservatórios, açudes, etc., que nada mais são que sinônimos, uma vez que esses ecossistemas têm a mesma origem e finalidade (ESTEVES, 1998). O Brasil possui a maior rede de açudes do mundo, sendo que a grande maioria encontra-se na região nordeste do país, com quase 70.000 reservatórios e com um volume armazenado de cerca de 37 bilhões de m³ de água (VIANA, 2012).

A forma encontrada para regularizar o regime hidrológico dos rios intermitentes do Nordeste foi à construção de açudes, que desempenham importante papel para o desenvolvimento da região, sendo utilizados para múltiplas finalidades, como o abastecimento doméstico e industrial, a irrigação, a dessedentação animal, a pesca, a aquicultura e o lazer (PAULINO e TEXEIRA, 2012).

Conforme Lima e Garcia (2008) em virtude de condições climáticas e geomorfológicas da região Nordeste, os recursos hídricos são escassos, sendo necessárias medidas que garantam o seu fornecimento em grande parte do ano. A água é um elemento estratégico e fundamental para o desenvolvimento rural sustentável do semiárido nordestino, sendo necessário que esteja disponível não só em quantidade, mas também em qualidade. Uma dessas medidas para garantir o fornecimento de água e a construção de açudes, reservatórios ou barragens.

Ceballos (1995) enfatiza que na região do semiárido do Nordeste do Brasil, os açudes têm uma grande importância econômica e social. Onde nos

períodos de estiagem, toda atividade humana depende desses reservatórios, e suas águas passam a ser usadas para vários usos, tais como irrigação, dessedentação de animais, consumo humano e piscicultura.

A qualidade da água é influenciada por uma sucessão de fatores naturais (biológicos, geológicos, hidrológicos, meteorológicos e topográficos). Estes fatores interagem nas bacias de drenagem e de captação de lagos, rios e estuários, podendo variar sazonalmente de acordo com as diferentes condições de tempo, volumes de escoamentos e níveis de água (BARROS, 2013).

Especialmente, a qualidade da água contida em um açude, está associada com o tipo de solo e com o seu uso e ocupação dentro da sua bacia hidrográfica, pois ao atingir o solo, a parte que escoar carrega partículas de solo, que agregam íons e cátions, alterando a sua qualidade. O que será carregado dependerá do uso e da ocupação deste solo, que tanto pode ser uma área onde se pratica agricultura, ou pecuária, quanto pode ser uma área urbana, cada uma alterando a qualidade da água de uma forma diferente (PAULINO e TEIXEIRA, 2012).

Entre os efeitos causados pela ocupação e uso indevido do solo localizado em uma bacia hidrográfica de um açude, está a eutrofização desta massa de água.

2.2 Eutrofização

A eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, levando ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, com conseqüente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lênticos (FIGUEIRÊDO, 2007).

Os usos do solo e da água na bacia hidrográfica são determinantes para o estabelecimento das características dos ecossistemas aquáticos. Na área de influência dos reservatórios, são inúmeras as atividades desenvolvidas, como a agricultura extensiva, utilização de fertilizantes inorgânicos, atividades industriais, ocasionando a geração, transporte e o lançamento de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, para o interior dos ecossistemas aquáticos, acelerando o processo de eutrofização. Embora os focos pontuais e não pontuais de

macronutrientes sejam contribuintes para a eutrofização, os não pontuais normalmente são dominantes e representam desafios para o gerenciamento (UNEP-IETC, 2001, *Apud* PACHECO, 2009).

O processo de eutrofização pode ocorrer naturalmente ou ser induzido pela ação do homem. Quando natural, é um processo lento e contínuo que resulta no aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas que erodem e lavam a superfície terrestre (ESTEVE, 1998). Também pode acontecer de forma acelerada, com um aumento desordenado na produção de biomassa, impossibilitando a sua incorporação pelo sistema aquático com a mesma velocidade e provocando um desequilíbrio ecológico, sendo chamado de eutrofização cultural. Este fenômeno decorre de ações antrópicas, sendo causado principalmente por despejos de esgotos domésticos, efluentes de atividades agrícolas, vegetação remanescente em represas não desmatadas antes do seu fechamento, presença de atividade agropecuária no entorno do reservatório, entre outras (PAULINO e TEXEIRA, 2012).

O processo de eutrofização tem, entre outros, os seguintes efeitos nos sistemas aquáticos: anoxia (ausência de oxigênio), causando a morte de peixes e invertebrados; aumento da biomassa e da produção primária de fitoplâncton; diminuição da diversidade de espécies; diminuição na concentração de íons; aumento do fósforo total no sedimento; restrição à pesca e a recreação; aumento da frequência do florescimento de cianobactérias, com possível produção de cianotoxina por parte destas (TUNDISI, 2005).

O processo de eutrofização tem como principal consequência a proliferação excessiva de organismos fitoplanctônicos, fenômeno este denominado de floração ou “bloom”, ocorrendo, nestas florações, um maior desenvolvimento da Classe das cianobactérias (CETESB, 2013a). Estas florações ou “blooms” se caracterizam pelo intenso crescimento desses microorganismos na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade, com conseqüências relacionadas com a Saúde Pública (AZEVEDO, 1998).

O termo floração é vago e não define exatamente uma quantidade específica de células por unidade de volume. Normalmente, diz-se que há uma floração quando o número total de células passa a ser maior que a média do corpo d’água (MOLICA e AZEVEDO, 2009). As florações de cianobactérias são o resultado do crescimento exagerado destes organismos em quantidades superiores a 10^3

células por mL, causando impacto negativo na qualidade da água, além de tornar os ambientes impróprios também para a pesca e recreação (CARMICHAEL e FALCONER 1993).

A CETESB (2013), classifica as florações em dois tipos: as denominada "scums", ou natas, que se caracteriza por apresentar elevada concentração de clorofila-a, podendo durar de poucas horas ou dias e tendo espessura de poucos milímetros, e as "hyperscums" que tem por características apresentar-se como uma massa flutuante de células de espessura variando entre 50 e 75 cm, altamente densa, que impede o movimento de água entre as células. Podendo durar de semanas ou muitos meses.

A limitação da produção primária ocorre, fisiologicamente, em função de três fatores: luz, nutrientes e temperatura. Os elementos podem ser classificados como macro e micronutrientes de acordo com as quantidades requeridas pelo organismo. Entre os macronutrientes destacam-se o carbono, fósforo, nitrogênio, silício, enxofre, potássio, cálcio e magnésio; sendo os três primeiros os principais. Os principais micronutrientes são: ferro, manganês, molibdênio, zinco, cobre e cobalto (BASSOLI, 2006).

O aumento da temperatura global associado à fertilização de rios, lagos e represas causada pelas atividades antrópicas e ao alto tempo de residência da água nos reservatórios, principalmente no período do verão, favorecem as florações de Cianobactéria (FREITAS *et al.*, 2012).

A principal preocupação com o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água, é que as mesmas interferem no processo de tratamento e alteram o sabor e o odor da água tratada. Estes microorganismos têm a capacidade de produzirem e liberarem para o meio líquido toxinas (cianotoxinas) que podem afetar a saúde humana, tanto pela ingestão de água como por contato em atividades de recreação no ambiente, ou ainda pelo consumo de pescado contaminado. Entretanto, a principal via de intoxicação é pelo consumo oral da água sem um tratamento adequado para remoção dessas toxinas que podem inviabilizar a utilização dos corpos de água como mananciais para abastecimento público e outros usos essenciais, em razão do risco de causar sérios impactos à saúde humana (BRASIL, 2003; GALLI e ABE, 2013). O mais grave é que as cianotoxinas não podem ser retiradas pelos sistemas de tratamento de água tradicionais e nem pela fervura (SILVA, 2013).

2.3 Cianobactérias

As cianobactérias, também conhecidas como cianofíceas ou algas azuis, são microrganismos procarióticos¹, autotróficos (produzem seu próprio alimento por meio de fotossíntese) e são capazes de se desenvolver em mananciais superficiais, especialmente aqueles com elevados níveis de nutrientes (CARNEIRO e LEITE, 2008). Segundo Azevedo (1998), seus processos vitais requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. A fotossíntese é seu principal modo de obtenção de energia para o metabolismo. Podem apresentar-se de forma unicelular, unicelular colonial ou ainda de forma filamentosa. Estão presentes em todos os ambientes e são muito toleráveis às condições do meio e do clima, encontrando-se na maioria dos ecossistemas terrestres e aquáticos, principalmente na água doce, além de ambientes extremos, como fontes termais, neve e deserto (CETESB, 2013a).

Estima-se que as cianobactérias tenham se originado a cerca de 3,5 bilhões de anos, tendo por base a descoberta de fósseis do que foram certamente esses microrganismos, em rochas sedimentares encontradas no noroeste da Austrália. As cianobactérias estão, portanto, entre os primeiros organismos a surgirem na terra, sendo provavelmente os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva (AZEVEDO, 1998). Ao longo de seu período evolutivo desenvolveram estratégias adaptativas como: **heterócito**, célula especial, responsável por fixação de nitrogênio na forma gasosa (N₂) quando há concentração abaixo da crítica de nitrogênio na forma iônica assimilável na água, proporcionando-lhe vantagem competitiva em relação às espécies algais, que não possuem esta adaptação; **aerótopos**, que são vesículas gasosas, responsáveis pelo seu movimento vertical na coluna de água, proporcionando, um melhor aproveitamento da luz, nitrogênio na superfície da água e nutrientes; **produção de bainhas ou matriz de mucilagem** espessada ao redor da parede celular dificulta a manipulação e ingestão das células pelos organismos

¹ São organismos que não possuem membrana nuclear; núcleo delimitado pela cariomembrana (carioteca) e organelas membranosas (retículo endoplasmático liso e rugoso, complexo de golgi, mitocôndrias, plastos, lisossomos e vacúolos). Apresentam uma parede esquelética (parede celular) externamente à membrana plasmática, os ribossomos estão dispersos no citoplasma e o seu material genético, geralmente se constitui de um único filamento emaranhado de DNA circular mergulhado no hialoplasma. A reprodução é assexuada por conjugação, divisão binária e transdução.

do zooplâncton, diminuindo significativamente as taxas de herbivoria; **assimilação de ortofosfato** em excesso durante períodos de elevadas concentrações do nutriente na água, armazenando-o intracelularmente na forma de polifosfatos através de fosfatases, e que podem ser visualizados em microscopia ótica como grânulos; **ficobiliproteínas**, que compõem um sistema de antena que auxilia na captação de luz para fotossíntese, possibilitando sua sobrevivência em ambientes com pouca luz; **produção de células diferenciadas**, denominada de **acinetos**, que funcionam como esporos de resistência em condições adversas, permitindo a sobrevivência da célula por longos períodos (SANT'ANNA *et al.*, 2006; FERNANDES, 2013)

Fatores que afetam a formação de floração de cianobactérias e sua persistência, incluem intensidade e duração da luz solar, a disponibilidade de nutrientes (especialmente fósforo), temperatura da água, pH, um aumento de precipitação, o fluxo de água (se a água é calma ou de correnteza rápida) e estabilidade da coluna de água (USEPA, 2012).

Essas florações de cianobactérias podem causar gosto e odor desagradável na água, além de alterar o equilíbrio ecológico do ecossistema aquático (TORQUATO, 2012). No entanto, o mais grave é que certas espécies são capazes de produzir toxinas que podem ser acumuladas na rede trófica e produzir diferentes sintomas de intoxicação, atingindo conjuntos de organismos muito além da comunidade (BITTENCOURT-OLIVEIRA *et al.*, 2001). Dentre os aproximadamente 150 gêneros de cianobactérias conhecidos, 40 estão relacionados com a produção de toxinas (MOLICA e AZEVEDO, 2009).

2.4 Cianotóxina

Embora ainda não estejam devidamente esclarecidas, têm-se assumido que essas cianotoxinas tenham função protetora contra herbivoria, como acontece com alguns metabólitos de plantas vasculares (CARMICHAEL, 1992). Já outros pesquisadores têm atribuído a alelopatia como o mecanismo que poderia explicar a liberação dessas toxinas, pois tal processo pode inibir o crescimento ou a sobrevivência de espécies competidoras por recursos (microalgas e plantas aquáticas) (SANTOS, 2012, FERNANDES, 2009, FIGUEREDO, 2007).

Conforme Molica e Azevedo (2009), um fator complicador para

compreensão do papel das cianotoxinas é que uma mesma espécie de cianobactéria, porém em diferentes regiões do planeta, pode produzir diferentes toxinas, como é o caso de *Cylindrospermopsis raciborskii*, produtora de cilindrospermopsina na Austrália (SAKER; GRIFFITHS, 2000) e de saxitoxinas no Brasil (LAGOS *et al.*, 1999).

Na produção de cianotoxinas os fatores ambientais como luz, temperatura e nutrientes, têm grande influência. A toxicidade das cianobactérias também pode apresentar sazonalidade, desde intervalos curtos de tempo até diferenças sazonais e anuais, e varia também de espécie para espécie e dentro dos gêneros pode haver cepas produtoras e não produtoras de cianotoxinas (CARMICHAEL, 1992; AZEVEDO; VASCONCELOS, 2006; ZAGATTO, 2001 *Apud* CARLOS, 2011).

Segundo Calijuri (2006), a exposição humana a cianotoxinas pode ocorrer através de contato dermal, inalação, ingestão oral, intravenosa e bioacumulação na cadeia alimentar. Esta pesquisadora agrupa as cianotoxinas, segundo sua origem e forma de dispersão no ambiente, em duas categorias, as endotoxinas e as exotoxinas. As endotoxinas são constituintes da parede celular de grande variedade de cianobactérias e são liberadas para a água quando as células morrem e entram em senescência. Elas são compostas por polissacarídeos e lipídeo "A". O lipídeo "A" tem propriedades tóxicas; que, embora fracas, podem ser fatais em doses elevadas. As exotoxinas são polipeptídeos, altamente específicas, com ação tóxica poderosa, secretadas em baixa concentração. São as toxinas conhecidas mais poderosas.

Segundo Molica e Azevedo (2009), de acordo com suas estruturas químicas, as cianotoxinas podem ser incluídas em três grandes grupos: os peptídeos cíclicos, os alcalóides e os lipopolissacarídeos. Entretanto, por suas ações farmacológicas, as duas principais classes de cianotoxinas até agora caracterizadas são: neurotoxinas e hepatotoxinas. Além dessas, alguns gêneros de cianobactérias também podem produzir toxinas irritantes ao contato, sendo identificadas como lipopolissacarídeos (LPS).

Algumas pesquisas vêm relacionando o aminoácido não-protéico β -N-metilamino-L-alanina (BMAA), uma neurotoxina que pode ser produzida por alguns gêneros de cianobactérias, como a possível causa de esclerose amiotrófica lateral (ALS), grave doença neurológica que se caracteriza por paralisia progressiva associada ao Mal de Parkinson e à doença de Alzheimer, atualmente designada pela sigla ALS-PDC (complexo ALS-Parkinson-demência). Testes realizados em

determinadas cianobactérias planctônicas revelaram que 97% das amostras eram produtoras do BMAA, a maioria pertencente aos gêneros relacionados a florações de *Microcystis*, *Dolichospermum* e *Cylindrospermopsis*. Também vem sendo pesquisada a biomagnificação dessa toxina (CETESB, 2013a e FURTADO, 2007).

Conforme a World Health Organization (WHO) (2001), as doenças causadas por intoxicação provocadas por meio de toxinas de cianobactérias variam de acordo com o tipo de toxina e da água ou exposição relacionada (beber, contacto com a pele, etc.). Os seres humanos são afetados com uma gama de sintomas que incluem a irritação da pele, dores de estômago, vômitos, náuseas, diarreia, febre, dor de garganta, dor de cabeça, dores musculares e articulares, bolhas na boca e danos no fígado. Nadadores em água com toxinas de cianobactérias podem sofrer reações alérgicas, como asma, irritação dos olhos, erupções cutâneas e bolhas ao redor da boca e nariz. Animais, aves e peixes também podem ser envenenados por níveis elevados de cianobactérias produtoras de toxinas.

No Brasil, os estudos que vêm sendo realizados no Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LECT-UFRJ), têm confirmado a ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias em corpos d'água (reservatórios de abastecimento público, lagos artificiais, lagoas salobras e rios) dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Pará, Paraná, Bahia, Pernambuco e do Distrito Federal. Aproximadamente 82% das cepas isoladas pelo LECT-UFRJ se mostram tóxicas quando testadas em bioensaios de toxicidade ou por análises químicas, sendo 9,7% neurotóxicas enquanto que as demais são hepatotóxicas (BRASIL, 2003).

2.4.1 Neurotoxinas

Estas cianotoxinas são produzidas por vários Gêneros de cianobactérias, são substâncias alcaloides, que agem rapidamente no sistema neuromuscular, bloqueando-o. Provocam a morte de animais no intervalo de poucos minutos a poucas horas, devido à parada respiratória. Três tipos foram descritos até o momento: anatoxina, anatoxina-a(s) e saxitoxinas (CETESB, 2013a).

As neurotoxinas já foram isoladas nos seguintes gêneros: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Trichodesmium*, *Lyngbya* e *Cylindrospermopsis*.

2.4.1.1 *Anatoxina-a*

Conforme Azevedo (1998), este alcalóide neurotóxico é um potente bloqueador neuromuscular pós-sináptico de receptores nicotínicos e colinérgicos. Esta ação se dá porque a anatoxina-a liga-se irreversivelmente a receptores de acetilcolina, pois não é degradada pela acetilcolinesterase. A DL50 intraperitoneal (i.p.) em camundongos, para a toxina purificada, é de 200 mg/Kg de peso corpóreo, com um tempo de sobrevivência de 1 a 20 minutos.

Segundo Azevedo (1998), os sintomas demonstrados por envenenamento desta toxina, em animais selvagens e domésticos, incluem: desequilíbrio, fasciculação muscular, respiração ofegante e convulsões. Quando ocorre óbito, este é causado por parada respiratória e ocorre de poucos minutos a poucas horas, dependendo da dosagem e consumo prévio de alimento. Os sinais clínicos de intoxicação mostram uma progressão de fasciculação muscular, decréscimo de movimentos, respiração abdominal exagerada, cianose, convulsão e morte.

Anatoxina-a é produzido por *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena spp. (flos-aquae-mermanniigroup)*, *Anabaena planktonica*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* e *Cylindrospermum* (CHORUS e BARTRAM, 1999).

2.4.1.2 *Anatoxina(s)*

Apresenta os mesmos sinais de intoxicação da anatoxina-a, acrescidos de intensa salivação, foi designada como Anatoxina(s). Essa neurotoxina recebeu um “s”, devido ao sintoma indicador, a salivação, que ocorrem em vertebrados (AZEVEDO, 1998; CARLOTO, 2013).

Esta neurotoxina tem um mecanismo de ação semelhante à anatoxina-a, pois inibe a ação da acetilcolinesterase, impedindo a degradação da acetilcolina ligada aos receptores (AZEVEDO, 1998). Conforme Chorus e Bartram (1999), o gênero produtor desta cianotoxina é a *Anabaena*.

2.4.1.3 Saxitoxinas

Este é nome genérico que se tem adotado para um grupo de neurotoxina conhecida como “veneno paralisante de molusco” (toxinas do tipo PSP) que foram primeiramente isoladas de moluscos marinhos, que a bioacumularam ao se alimentar de dinoflagelados causadores da maré vermelha e, são melhores estudadas em ambiente marinho (BARBOSA, 2009; RESTANI, 2011).

As saxitoxinas são alcalóides carbamatos, que podem ser não sulfatados (saxitoxinas), monossulfatados (goniautoxinas) ou dissulfatados (C-toxinas), que produzem efeitos neurotóxicos, afetando a permeabilidade ao potássio ou a resistência das membranas bloqueando os canais de sódio das células, inibindo assim a propagação do impulso nervoso (CHORUS e BARTRAM, 1999; CYBIS, 2006).

Os sintomas de intoxicação humana são: formigamento, sensação de ardência nos lábios e boca, que logo depois aparece nos dedos das mãos e dos pés e se propaga para a extremidade dos braços, pernas e pescoço. Pode acontecer fraqueza muscular no pescoço e nos membros com ataxia (imobilidade) acompanhados por perda de coordenação e pode ocorrer morte por parada respiratória (RESTANI, 2011).

2.4.2 Hepatotoxinas

As hepatotoxinas estão divididas em três grupos: os heptapeptídeos cíclicos, as chamadas microcistinas, os pentapeptídeos cíclicos chamados nodularinas e o alcalóide cilindrospermopsina. Todas foram assim nomeadas por terem sido primeiramente isoladas dos gêneros *Microcystis*, *Nodularia* e *Cylindrospermopsis*, respectivamente (SOARES, 2009).

As hepatotoxinas são as toxinas produzidas por cianobactérias mais comumente relacionadas com casos de envenenamento animal e humano em todo o mundo, causando a morte entre poucas horas e poucos dias, em decorrência de hemorragia hepática e choque hipovolêmico (BITTENCOURT-OLIVEIRA e MOLICA, 2003). As espécies já identificadas como produtoras dessas hepatotoxinas estão incluídas nos gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc* e *Cylindrospermopsis* (CARMICHAEL, 1992).

2.4.2.1 *Microcistinas*

Essas toxinas são comumente encontradas em florações de água doce e dentre os diversos tipos de cianotoxinas é a mais estudada, sendo um potente inibidor das proteínas fosfatases 1 e 2. As quais regulam as enzimas presentes no citosol das células de mamíferos. São potentes promotoras de tumores, causando grandes perturbações estruturais e funcionais no fígado podendo levar à morte em algumas horas por hemorragia deste órgão. Entre as suas variantes, a primeira quimicamente identificada, mais tóxica e frequentemente encontrada é a microcistina-LR, que contém os aminoácidos leucina (L) e arginina (R) em posições variáveis (CARNEIRO, 2008, MENDES, 2013).

Os gêneros já identificados como potencialmente produtores de microcistinas são *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria (Planktothrix)*, *Nostoc*, *Hapalosiphon*, *Aphanocapsa* e *Anabaenopsi* (CHORUS e BARTRAM, 1999, SOARES, 2009).

2.4.2.2 *Cilindrospermopsina*

Composto alcalóide guanidínico cíclico, que inibe a síntese protéica, tendo efeito predominantemente hepatotóxico, mas também afetam células dos rins, baço, coração, trato gastrointestinal, órgãos endócrinos, sistema imune, sistema vascular e músculos (SOARES, 2009). Chorus e Bartram, (1999), relatam a produção desta toxina pelas espécies *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Umezakia natans* e *Aphanizomenon ovalisporum*.

A produção de cilindrospermopsina já foi documentada para espécies dos gêneros *Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon*, *Raphidiopsis*, *Microcystis*, *Anabaena* (atualmente chamada de *Dolychospermum*) e *Lyngbya*, cianobactérias comumente encontradas no Brasil (ABES, 2010; CHORUS e BARTRAM, 1999).

2.4.2.3 *Nodularina*

É um pentapeptídeo, com semelhança estrutural com a microcistina, inclusive no seu modo de ação. A nodularina só foi encontrada até o momento em *Nodularia spumigena*, uma espécie de ocorrência preferencial em águas salobras ou

levemente salinas (KARJALAINEN, 2005; SOARES, 2009).

2.4.3 Lipopolissacarídeos (LPS)

Os LPS são endotoxinas pirogênicas que compõe a membrana celular das cianobactérias, tem a capacidade de produzir irritações na pele e alergias. Esses compostos são importantes especialmente nos locais com risco de exposição às células de cianobactérias, como os destinados à balneabilidade (CETESB, 2013a).

2.5 As Cianobactérias Tratadas Neste Trabalho

2.5.1 *Cylindrospermopsis Raciborskii*

A cianobactéria planctônica de água doce, potencialmente tóxica, *C.raciborskii* foi originalmente citada como sendo apenas de clima tropical por Woloszynska (1912), entretanto tornou-se cada vez mais prevalente em corpos d'água tropicais e temperadas de todo o mundo (SAKER; NEILAN, 2003; SAKER *et al.*, 2001)

A *Cylindropermopsis raciborskii* (FIGURA 1) pertence à ordem Nostocales e família Nostocaceae (Domínio Bacteria, divisão Cyanobacteria) (RESTANI, 2011). Tem por característica a formação de tricomas solitários retos ou ligeiramente curvados, atenuados nas extremidades e sem envelope mucilaginoso. Suas células apicais cônico-arredondadas, pontiagudas ou cilíndricas com extremidades arredondadas (SHAFIK, *et al.*, 2003).

Figura 1 - *Cylindropermopsis raciborskii* – (A) reta e (B) Espirilada.



Fonte: GreenWater Laboratories, 2013.

Padisák (1997) classifica a espécie *Cylindropermopsis raciborskii* como cosmopolita, visto está ocorrendo sua invasão em regiões tropicais, subtropicais e temperadas.

No Brasil, o primeiro relato da ocorrência de *Cylindropermopsis raciborskii* foi feito por Palmer (1969) para o Lago Paranoá em Brasília, DF. De lá para cá, florações dessa espécie têm sido registradas em diversos reservatórios brasileiros (WOJCIECHOWSKI, 2013). Uma das regiões do Brasil onde esta cianobactéria tem sido evidenciada como muito frequente é a região Nordeste (BOUVY *et al.* 1999; FALCÃO *et al.*, 2002). Bouvy (2000) enfatiza que os reservatórios desta região possuem excelentes condições para o desenvolvimento desta espécie, tais como, corpos d'água rasos, estabilidade na coluna d'água devido à pluviosidade baixa, longo tempo de detenção da água (ou ausência de renovação), irradiações e temperatura altas além de valores de pH acima de 8,0.

Sua alta competitividade em ambientes eutrofizados, aliada à sua capacidade de formar florações e produzir toxinas, fazem desta espécie uma das Cianobactérias mais estudadas tanto do ponto de vista ecológico como de saúde pública (TUCCI e SANT'ANNA, 2003). *C. raciborskii* vem se tornando uma das espécies de cianobactérias de maior interesse para os pesquisadores, em parte pelo seu potencial de produzir toxinas e formar florações, mas principalmente pelo aumento do número de relatos de sua ocorrência nos últimos sete anos em ecossistemas aquáticos continentais de regiões tropicais, subtropicais, e mesmo temperadas, de diferentes países (JARDIM, 2006).

Apesar de poderem ser dominantes durante o ano todo, são mais comumente encontrados em períodos restritos, geralmente secos e de baixa pluviosidade. Esta cianobactéria possui múltiplas estratégias adaptativas, tais como resistência à herbivoria, tolerância às baixas irradiações, possibilidade de migração na coluna d'água buscando estratos ricos em nutrientes e luz, tolerância às altas concentrações iônicas, armazenamento e utilização de reservas intracelulares de fósforo, alta afinidade ao NH_4^+ que é a forma energeticamente mais acessível de nitrogênio, ou na sua falta, podem fixar o N_2 atmosférico e flexibilidade às grandes variações de condutividade elétrica (BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOLICA, 2003).

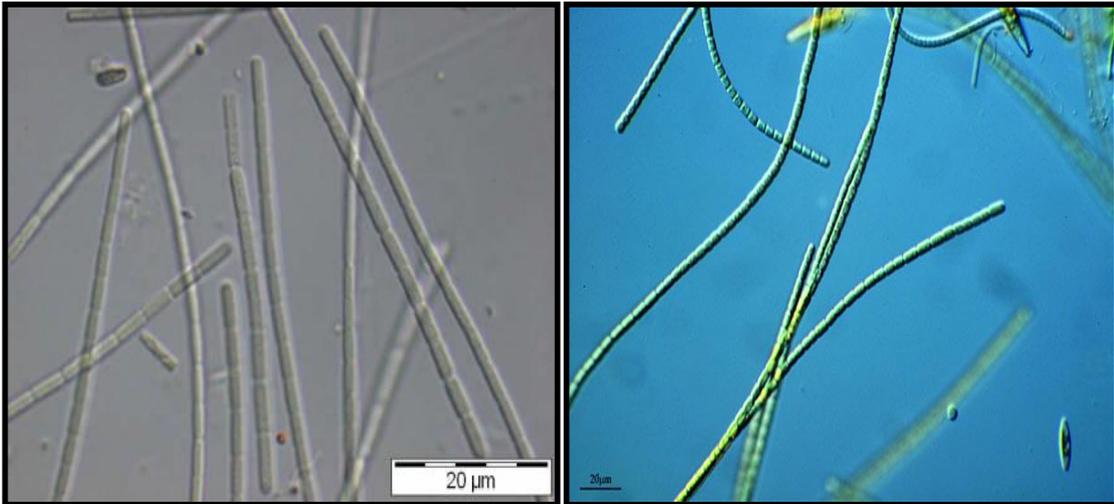
Esta é um componente importante entre as espécies formadoras de florações, pois pode produzir hepatotoxinas, neurotoxinas e citotoxinas (CHORUS; BARTRAM 1999). As variantes de saxitoxinas caracterizadas a partir de amostras de cepas brasileiras de *C. raciborskii* até no momento foram: saxitoxina, neosaxitoxina, dc-saxitoxina, dc-neosaxitoxina, GTX-2, GTX-3, GTX-6 e uma nova variante ainda não descrita (BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOLICA, 2003).

De acordo com Pacheco (2009), *Cylindrospermopsis raciborskii* têm sido cada vez mais frequentes em reservatórios brasileiros, por causa da sua alta competitividade nos ambientes tropicais eutróficos. Florações tóxicas de espécies deste gênero já foram registradas em vários ecossistemas aquáticos brasileiros das regiões Nordeste, Sudeste e Sul. A grande maioria das cepas tóxicas de *C. raciborskii*, até agora isoladas de ecossistemas aquáticos brasileiros, demonstraram produzir saxitoxinas.

2.5.2 *Pseudanabaena Catenata*

Conforme Sant'Anna *et al.* (2012) possui tricomas solitários, geralmente retos, constrictos, não atenuados, septos translúcidos, não granulados; células cilíndricas 1,8 – 2 μm diâmetro, 3 – 4 μm comprimento; célula apical cilíndrica com ápice arredondado ou truncado; conteúdo celular homogêneo. De acordo com Aragão (2001) o conteúdo homogêneo da célula, a ausência de grânulos ou aerótopos, e a parede celular bem definida entre uma célula e outra, são características do gênero. A espécie é facilmente identificada pela morfologia da célula apical e dimensões comprimento/largura (FIGURA 2).

Figura 2 – *Pseudoanabaena catenata*.



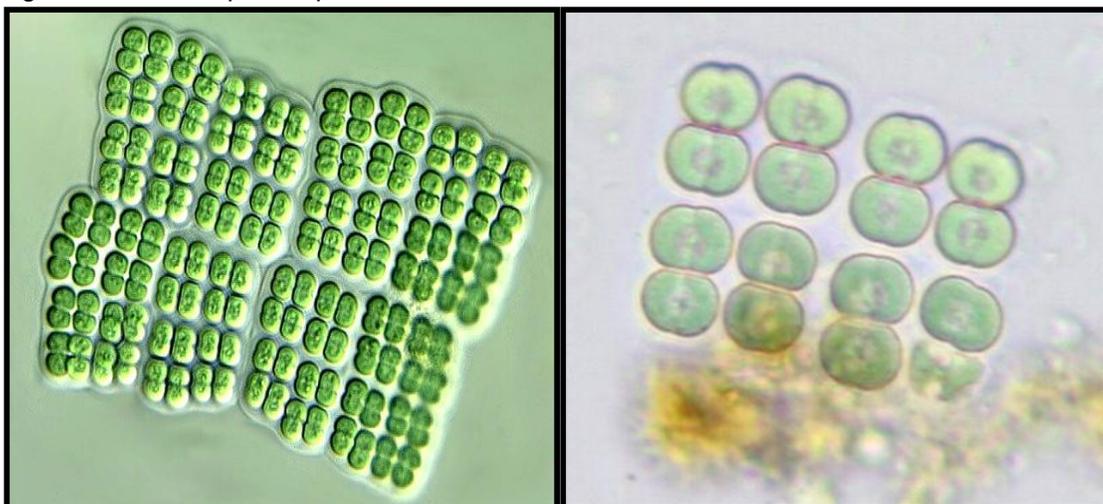
Fonte: EQAT e CFP, 2013.

Estes organismos ocorrem em lagos rasos, túrbidos e inorgânicos (Dantas, 2010).

2.5.3 *Merismopedia* sp

Merismopedia (FIGURA 3) é um gênero colonial, com espécies planctônicas e metafíticas. As colônias são tabulares e apresentam células arranjadas em linhas perpendiculares. As células são esféricas ou amplamente elípticas e o conteúdo celular é comumente homogêneo, porém, em algumas espécies ocorrem aerótopos. A divisão celular ocorre por fissão binária em dois planos perpendiculares entre si e no mesmo plano da colônia. As células-filha crescem atingindo o tamanho e a forma originais antes da próxima divisão. É necessário cuidado na identificação das espécies com aerótopos porque podem ser confundidas com *Thiopedia*, uma *Rhodobacteria* (BICUDO; MENEZES, 2006).

Figura 3 - *Merismopedia* sp



Fonte: MicrobeWiki, 2013.

São conhecidas mais de 30 espécies de *Merismopedia*, sendo a maioria delas planctônica de águas continentais, mas algumas espécies podem ocorrer em ambientes subaéreos (KOMÁREK e ANAGNOSTIDIS, 1999 *Apud* ARCHIMORPH, 2013).

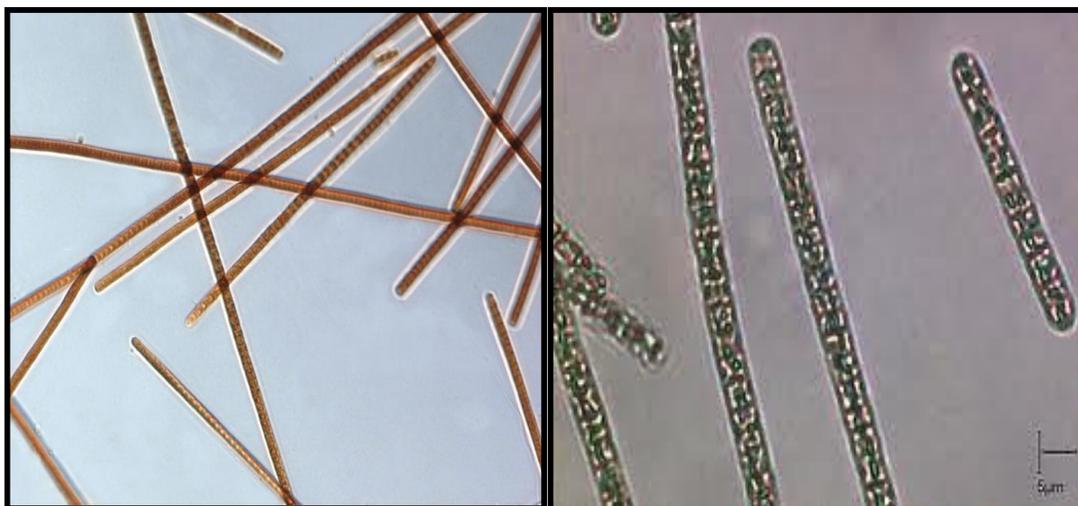
Este gênero de cianobactérias pode produzir a substância Lipopolissacarídeos (LPS) capazes de causar irritação na pele e problemas gastrointestinais (NOAA, 2013). Este tipo de cianobactéria é característico de águas contaminadas (IWATA; CÂMARA, 2007). Conforme Steil (2007), o gênero *Merismopedia* é comumente encontrado em reservatórios brasileiros e pode ser identificado por meio do trabalho de Werner (2002).

2.5.4 *Planktothrix agardhii*

A *Planktothrix agardhii* foi denominada como *Oscillatoria agardhii* (MERILUOTO; CODD, 2005). Bicudo e Menezes (2006) descreve morfológicamente o gênero *Planktothrix* como tendo tricomas solitários, retos, não ou apenas levemente constrictos no nível dos septos e, quando atenuados, o são apenas levemente nas últimas células. Bainha mucilagínosa ausente. Em geral, os tricomas não apresentam movimento. As células são, normalmente, quadráticas a subquadráticas. O conteúdo celular é verde-azulado, sempre com aerótopos. Célula apical arredondada ou cônica, com o ápice truncado e, às vezes, espessado. A

reprodução é feita pela formação de hormogônios imóveis, com ocorrência de necrídios. A maioria das espécies de *Planktothrix* é planctônica em águas continentais e poucas são habitantes do perifíton. Carloto (2013) descreve este organismo como tendo a maioria dos tricomas solitários, de livre flutuação, com até 300 μ m de comprimento. Os tricomas são retos ou ligeiramente curvados. Geralmente não possuem bainha mucilaginosa, mas podem apresentá-las, especialmente durante os estágios jovens do seu desenvolvimento. As células geralmente são mais largas do que compridas e possuem muitos aerótopos. Os tricomas possuem de 4 a 6 μ m de largura. São imóveis, não constrictos e com células gradualmente atenuadas nos fins. As células possuem um comprimento médio de 3,14 μ m (FIGURA 4).

Figura 4 - *Planktothrix agardhii*.



Fontes: Biodidac e Nordicmicroalgae, 2013.

A *Planktothrix agardhii* mostra-se cosmopolita em águas eutróficas e mesotróficas, esta espécie é potencialmente tóxica, com algumas linhagens capazes de produzir microcistinas (SANT'ANNA *et al.*, 2008). O gênero é considerado um dos mais importantes em relação à formação de florações, abundância e dominância, além de produção de toxinas (microcistinas e mais recentemente saxitoxina) e de geosmina, substância que reduz a qualidade da água e a torna imprópria ao consumo humano e até mesmo à recreação (Silva, 2009).

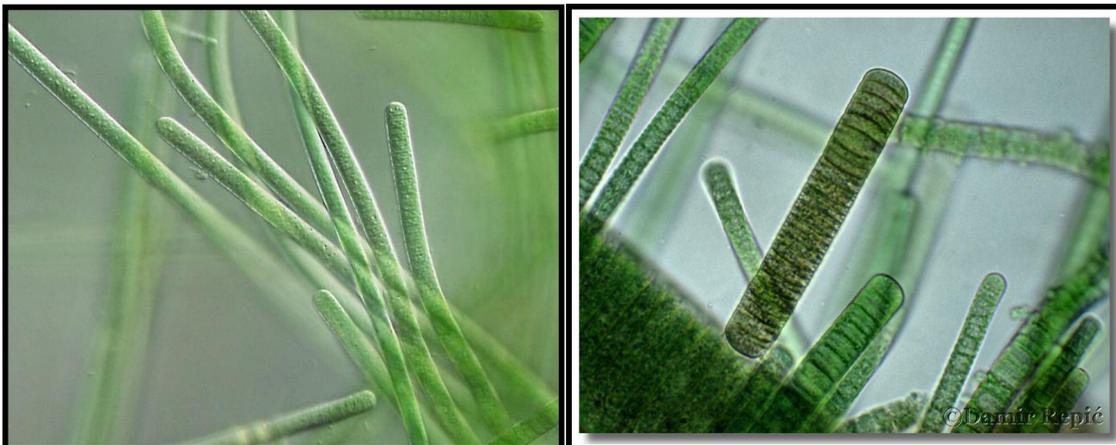
2.5.5 *Oscilatória* sp

Organismo da ordem Nostocales (FIGURA 5) de tom verde-azulado com pigmentos dispersos no citoplasma; tricomas simples não ramificados, sem bainha constituídos por células mais largas que compridas, intercaladas de quando em quando por necrídeos. Apresenta movimento pendular ou oscilatório. Não apresenta heterocitos.

A célula apical é diferente das restantes células. Reprodução por hormogônios (Universidade de Coimbra, 2013). Segundo Bicudo e Menezes (2006), este gênero caracteriza-se por apresentar tricomas que podem ser isolados ou, mais comumente, emaranhados, formando talos macroscópicos com diversos aspectos (veludo, tapete, couro) sobre o substrato, que pode ser plantas, outras algas, conchas, pedras, sedimento, areia, solo ou rocha. A bainha mucilagínosa está ausente. Os tricomas são retos, curvos ou flexuosos, constrictos ou não, apenas levemente atenuados nas células apicais e apresentam movimento deslizante ou oscilante. As células são sempre discóides, em geral, no mínimo quatro vezes mais largas do que longas. O conteúdo celular é verde-azulado, castanho ou violeta, homogêneo ou granuloso e destituído de aerótopos. A célula apical é arredondada e pode ou não ter espessamento apical ou caliptra. A reprodução se dá pela formação de hormogônios móveis, com formação de necrídios.

Característico de água poluída, presente sempre em grandes quantidades, podem conferir sabor “picante” e odor a água (IWATA; CÂMARA, 2007).

Figura 5 - *Oscilatória* sp



Fonte: Wikipedia e Mikrosvijet, 2013

2.6 Legislação Vigente no Brasil Voltada para Cianobactéria

O primeiro caso confirmado de mortes humanas causadas por cianotoxinas ocorreu no início de 1996, quando 130 pacientes renais crônicos, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE), passaram a apresentar um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose. Desses, 60 pacientes vieram a falecer até 10 meses após o início dos sintomas. As análises confirmaram a presença de microcistinas e cilindrospermopsina, no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica, e de microcistinas em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados (AZEVEDO, 1996; CARMICHAEL *et al.*, 1996; JOCHIMSEN *et al.*, 1998 *Apud* CONFALONIERI, 2013; CETESB, 2013a).

Este incidente levou a Fundação Nacional da Saúde, em colaboração com a Organização Panamericana da Saúde, à revisão da portaria 36/MS/90, que definia as normas e os padrões de potabilidade da água para consumo humano no Brasil (BITTENCOURT-OLIVEIRA e MOLICA, 2003).

Em 2000 foi promulgada uma regulamentação pioneira, a Portaria n.º 1.469, de 20/12/2000, editada pelo Ministério da Saúde. Esse instrumento legal estabeleceu procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano. Além dos padrões de potabilidade, foi pioneira ao inserir numa norma legal a obrigatoriedade do monitoramento de cianobactérias, junto do ponto de captação, em manancial superficial. Posteriormente, esta norma foi revogada e substituída pela Portaria/GM/MS n.º 518, de 25 de março de 2004, que absorveu toda a regulamentação anterior. Hoje, o instrumento normativo atualmente vigente é a Portaria do Ministério da Saúde n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que revogou a Portaria/GM/MS n.º 518 (DEBERDT *et al.*, 2004; TORQUATO, 2012).

A Portaria/MS/2011 n.º 2.914 em seu artigo 40 traz avanços importantes com relação ao monitoramento de cianobactérias, introduzindo a necessidade de identificação dos gêneros com a finalidade de se avaliar a presença de algas produtoras de toxinas. A padronização do método para quantificação foi um ganho. Agora, os resultados são expressos em células por mL e não mais em biovolume. A introdução da recomendação da análise de clorofila *a* no manancial como indicador de potencial aumento da densidade de cianobactérias permitirá maior agilidade no

controle da qualidade da água captada, bem como, a inclusão da obrigatoriedade da avaliação de saxitoxina, e da recomendação das análises de cilindrospermopsina e anatoxina-a(s) quando for detectada a presença de gêneros de cianobactérias potencialmente produtores dessas toxinas anatoxina(s) no monitoramento do ponto de captação (RIBEIRO, 2012).

Já resolução 357/05 do CONAMA (BRASIL, 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, e dá outras providências. Este diploma legal, segundo Ferreira (2008), estabelece valores-limite para a densidade de cianobactérias, objetivando disciplinar o monitoramento, compor classes de qualidade para os mananciais e estabelecer restrições aos usos, conforme disposto na Tabela 1.

Tabela 1 – valores limites, contidos na CONAMA 375/2005 (BRASIL, 2005), para a densidade de cianobactérias, objetivando disciplinar o monitoramento, compor classes de qualidade para os mananciais e estabelecer restrições aos usos.

Valores (Densidade Celular)	Resolução CONAMA/ 357/2005
10.000 células mL-1 ou 1,0 mm³L-1	Até este valor admite-se um padrão de qualidade para águas doces classe 1. A indicação é de que é suficiente o tratamento simplificado para o abastecimento humano.
50.000 células mL-1 ou 5,0 mm³L-1	Até este valor admite-se um padrão de qualidade para águas doces classe 2 e classe 3 para dessedentação animal. A indicação é de que é necessário tratamento convencional para abastecimento humano. O manancial pode ser destinado à aquicultura e pesca amadora, entre outros.
100.000 células mL-1 ou 10,0 mm³ L-1	Até este valor admite-se um padrão de qualidade para águas doces classe 3. A indicação é de que é necessário tratamento convencional ou avançado para abastecimento humano. O manancial pode ser destinado à pesca amadora, entre outros.

Fonte: Paulino, 2007.

A resolução 274/2000 do CONAMA (BRASIL, 2000) trata da balneabilidade. O seu Artigo 2, define que: “As águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) terão sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria”. Esta última categoria é tratada no parágrafo 4, onde são listadas as condições para a sua ocorrência. Entre as ocorrências para ser classificada como imprópria está a floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana (alínea f).

Balneabilidade pode ser definida como a capacidade que um local tem de possibilitar o banho e atividades esportivas em suas águas, ou seja, é a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário, sendo este entendido como um contato direto e prolongado com a água (natação, mergulho, esqui aquático, etc.), onde a possibilidade de ingerir quantidades apreciáveis de água é elevada (SABESP, 2013 e BERG *et al*, 2010).

Conforme a USEPA (2012), a presença de altos níveis de cianotoxinas na água e sua ingestão durante a recreação pode causar uma grande variedade de sintomas em humanos, incluindo febre, dores de cabeça, dores musculares e articulares, bolhas, dores de estômago, diarreia, vômitos, úlceras na boca e alergias reações. Tais efeitos podem ocorrer dentro de minutos a dias após a exposição. Em casos graves, convulsões, insuficiência hepática, respiração presa e, raramente, pode ocorrer a morte. Há evidência de que a exposição a longo prazo a microcistina e cilindrospermopsina pode promover o crescimento de tumores e podem causar câncer.

2.7 Macronutrientes

2.7.1 Nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998).

As fontes de nitrogênio podem ser naturais e/ou artificiais. As naturais são originárias, principalmente, de: chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio lago (ESTEVES, 1998). Já as artificiais provêm de: esgotos sanitários, que constituem em geral a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise sofrida pela uréia na água; alguns efluentes industriais químicos, petroquímicos, siderúrgicos, farmacêuticos, de conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes; áreas agrícolas pelo escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados; drenagens de águas pluviais em áreas urbanas, associadas às deficiências do sistema de limpeza pública (LIMA, 2005).

O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, por exemplo: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3^+), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos) (ESTEVES, 1998).

Considera-se que o nitrogênio pode ser assimilado pelo Fitoplâncton nas formas de amônio (NH_4^+) e Nitrato (NO_3^-). Estudos existentes demonstram que existe uma preferência pelo consumo de amônia, o que pode ser explicado pelo fato de esta ser uma espécie mais reativa. A utilização de nitrato implica uma conversão em amoníaco, o que representa um gasto de energia (PORTELA, 1996. *Apud* SARAIVA, 2001).

2.7.2 Fósforo

Segundo Esteves (1998), o fósforo participa em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular (através dos fosfolipídios), ainda este autor, afirma que na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas.

Dentre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de fosfato para os ecossistemas aquáticos continentais, dentre estas, a mais importante é a apatita. Este elemento é também encontrado em material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone (ESTEVES, 1998). Já as fontes artificiais de fosfato mais importantes são: esgotos domésticos, neste os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte, efluentes industriais (indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas); material particulado de origem industrial contido na atmosfera e as águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

O fósforo é um elemento abundante, porém nunca é encontrado em estado livre na natureza. Ele ocorre principalmente sob a forma de fosfatos, PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4 , ligados a um cátion em compostos inorgânicos insolúveis como, fosfato de cálcio simples $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, fosfato de alumínio AlPO_4 , fosfato férrico FePO_4 , e o fosfato misto, $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, denominado apatita, ou como componente de moléculas orgânicas (SAWYER *et al.*, 1994 *Apud* RIVERA, 2003).

2.7.3 Nutriente Limitante e Razão Nitrogênio/Fósforo (N/P)

A presença e a permanência de um organismo ou de um grupo dependem de um conjunto de condições. Qualquer condição que se aproxime ou exceda os limites de tolerância é uma condição limitante ou um fator limitante. Este conceito é baseado na “Lei do Mínimo” proposta por Liebig, a qual estabelece que a produção

de um organismo seja determinada pela abundância da substância que estiver presente no ambiente na menor quantidade relativa à sua necessidade (ODUM, 1988; WETZEL, 2001 *Apud* VIDAL, 2011).

A relação entre as concentrações de nitrogênio (representado pelas frações amoniacal nitroso e nítrico) e de fósforo (representado pelo sal fosfato) permite concluir sobre a ocorrência do nutriente limitante no processo de eutrofização. Sabidamente a eutrofização é o mais complexo dentre os fenômenos poluidores da água devido ao fato de possuir uma base essencialmente biológica, portanto dificilmente modelável. O predomínio de relações de natureza estocástica dificulta sobremaneira o acompanhamento da evolução do fenômeno, o qual é extremamente prejudicial ao uso do corpo d'água como manancial de abastecimento. Neste aspecto o conhecimento do nutriente limitante, obtido pela relação estequiométrica entre as concentrações de nitrogênio e fósforo, fornece um valioso auxílio para a compreensão do fenômeno e principalmente para o seu combate. Conhecendo-se o nutriente limitante é possível, mediante a sua eliminação ou impedimento de sua chegada, garantir a integridade ecológica do manancial. A determinação do nutriente limitante é feita considerando-se que a demanda da alga é equivalente à distribuição de nutrientes na sua biomassa. Segundo VON SPERLING (2001), a formação da biomassa algal é normalmente derivada da chamada relação de Redfield (C106H118O45N16P), o que equivale dizer que as algas, em média, demandam 16 vezes mais nitrogênio do que fósforo. Para se estabelecer esta relação nas águas do manancial de abastecimento as concentrações totais de nitrogênio e de fósforo devem ser divididas pelas suas respectivas massas atômicas (14 e 31), sendo então calculada a razão entre N e P.

A maioria dos lagos tropicais da América Latina são limitados por fósforo. Outro aspecto é o de que, mesmo que se controle o aporte externo de nitrogênio, há algas com capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, que não teriam a sua concentração reduzida com a diminuição da carga afluente de nitrogênio. Por estas razões, prefere-se dar uma maior prioridade ao controle das fontes de fósforo quando se pretende controlar a eutrofização em um corpo d'água (SALAS E MARTINO, 1991 *Apud* VON SPERLING, 1996).

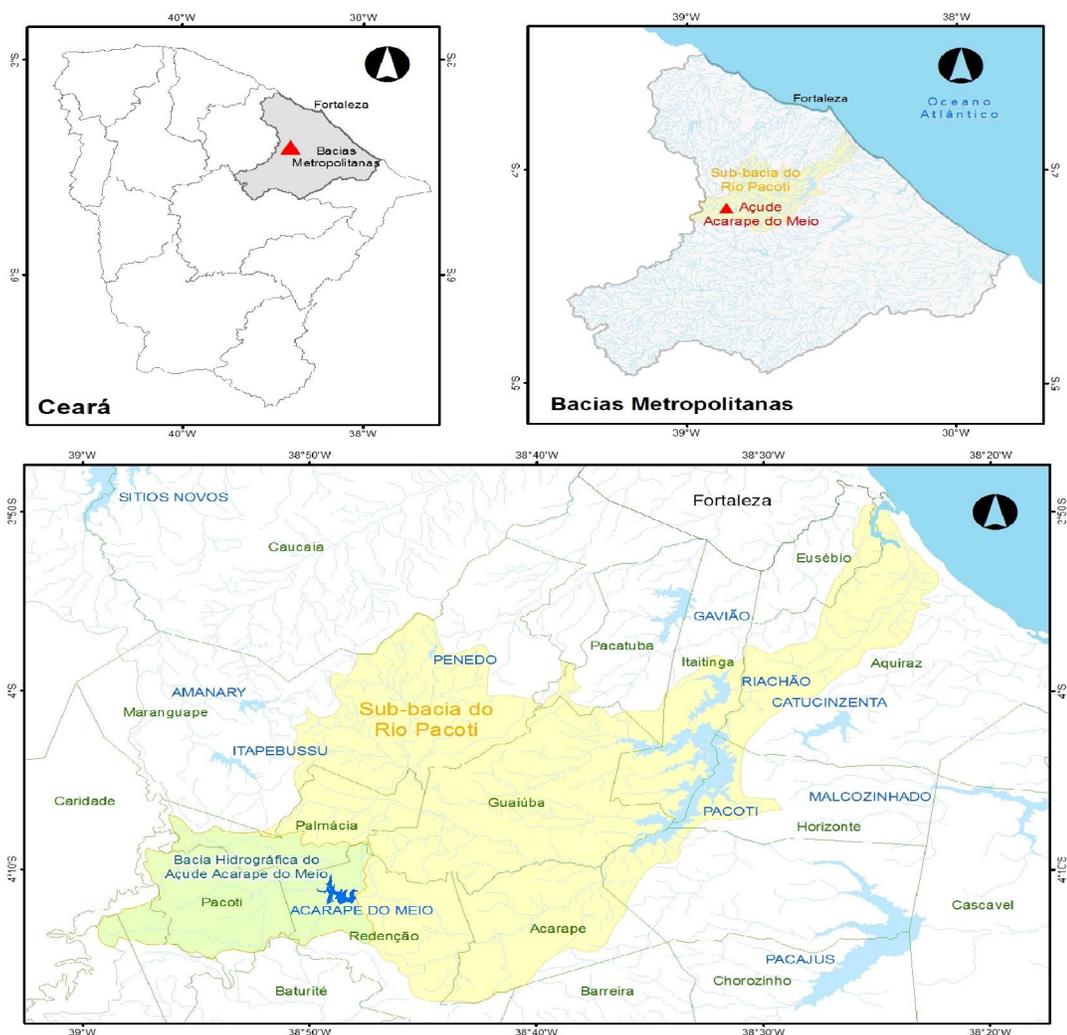
A capacidade de definir qual o nutriente limitante é crucial para o estabelecimento de planos de manejo em Bacias Hidrográficas, quando se pretende reduzir o grau de eutrofização de um corpo d'água (LAMPARELLI, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Áreas de Estudo

O presente estudo foi desenvolvido no reservatório Acarape do Meio ou Barragem Eng^o Eugênio Gudín, que barra o Rio Pacoti na localidade de São Gerardo, distrito do município de Redenção em uma altitude de 250 m. A área de sua bacia hidrográfica é de 210.010 Km², onde estão englobados parte dos municípios de Baturité, Guaiúba, Guaramiranga, Redenção, Pacoti, Mulungu, Palmácia e Redenção (FIGURA 6).

Figura 6 – Localização do açude Acarape do Meio.



Fonte: COGERH

O referido açude é composto por uma barragem de gravidade, em concreto com capacidade de armazenamento de 31,5 milhões de metros cúbicos, tendo a sua bacia hidráulica 220 ha (TABELA 2).

Tabela 2 - Ficha técnica simplificada do açude Acarape do Meio

Localização	
Município	Redenção
Sistema	METROPOLITANA
Rio/Riacho Barrado	Rio Pacoti
Hidrologia	
Bacia Hidrográfica (km ²)	210,96
Capacidade (m ³)	31.500.000
Vazão Regularizada (m ³ /s)	1,42
Barragem	
Bacia Hidráulica (ha)	220,00
Comprimento do Coroamento (m)	266,67
Largura do Coroamento (m)	4,0
Altura Máxima (m)	32,38
Cota (m)	133,02
Sangradouro	
Cota (m)	130,02
Largura (m)	53,0
Tomada D'água	
Tipo	GALERIA COM TUBULÃO
Comprimento (m)	25,75
Diâmetro	400mm
Fonte: COGERH	

Conforme o Plano Estadual de Recursos Hídrico (CEARÁ, 1992), que dividiu o estado Ceará em onze bacias hidrográficas, o açude Acarape do Meio encontra-se encravado hidrograficamente na Bacia Metropolitana.

3.2 - Características de usos na bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio.

Todas as atividades na bacia hidrográfica de um lago ou represa se refletem direta ou indiretamente na qualidade da água desses ecossistemas.

A COGERH (2008), ao realizar um inventário ambiental (IVA) do açude Acarape do Meio detectou vários usos nas bacias hidrográfica e hidráulica deste reservatório (ANEXO V), que foram:

Na montante da Bacia Hidrográfica

1) Presença de fossa rudimentares nas localidades de Brenha, Canadá e Canabrava. Possível contribuição para os riachos que fluem para o açude; 2) Foram identificadas em Redenção lavouras de banana, milho, feijão, mandioca, arroz, cana-de-açúcar e caju, com a utilização de agrotóxicos do tipo FOLISUPER para combater a barata do arroz e a lagarta do milho. Já no feijão há a aplicação de Azodrim, Novacron, Thamaron e o Karatê; o cemitério de Palmácia e Pacoti ficam nos níveis mais elevados das sedes e podem estar contaminando o lençol freático; 4) Os efluentes das ETEs de Pacoti vão para o rio sem o tratamento adequado e em Palmácia parte do esgoto que é coletado retorna ao manancial e os efluentes das lavagens dos filtros nas ETAs de Pacoti e Palmácia vão para os rios. As cidades de Guaramiranga e Pacoti possuem tratamento de efluentes do tipo decanto digestor, cujo destino é o rio Pacoti

Entorno da bacia hidráulica

1) no seu entorno inúmeras residências com fossa rudimentar; 2) alguns animais soltos, na sua maioria de gado bovino; 3) plantações de bananeiras e culturas como arroz, milho e feijão, com o uso de defensivos.

França (2009) Identificou vários tipos de construções e atividades irregulares na APP do açude Acarape do Meio, como: animais soltos no entorno do açude e em currais (estábulo), plantação de capim, residências que lançam efluentes diretamente na bacia hidráulica. Conforme ainda esta autora, todas essas modificações no ambiente natural estão ocasionando alterações no habitat, que causam prejuízos na água destinada ao abastecimento humano e outros fins.

Segundo dados constantes em IBGE (2007), na região a agricultura é baseada em: banana, café, coco, caju, castanha de caju, laranja, manga, mamão, tangerina, urucum, além de alface, cenoura, repolho, chuchu, pimentão e flores. A pecuária baseia-se na criação de aves, gado e suíno. Tais atividades terminam por efetuar lançamentos difusos em praticamente todo o reservatório Acarape do Meio (LIMA, 2007).

O Acarape do Meio recebe contribuição de nutrientes provenientes de tributários que se encontram a montante do mesmo. Este fato é explicado considerando que a montante deste reservatório podem ser encontradas algumas cidades, como é o exemplo de Pacoti, que lançam seus efluentes diretamente neste rio, causando, assim, um aumento considerável no aporte de nutrientes para o reservatório (ARAÚJO, 2013; CUNHA NETO, 2009).

A tabela 3 contém a estimativa das contribuições das cargas (pontuais e difusas) de nutriente levantadas pela COGERH (2008), quando da realização do IVA do açude Acarape do Meio.

Tabela 3 - Estimativa das emissões de nutrientes geradas pelas fontes pontuais e difusas levantadas pelo IVA do açude Acarape do Meio (COGERH, 2008).

Fontes Contribuintes		N		P	
		ton/ano	%	ton/ano	%
Difusa	Pecuária	1,06	9,40%	1,35	23,98%
	Pecuária outros	0,62	5,47%	1,07	19,05%
	Agricultura	0	0,00%	0	0,00%
	Solos	0,79	7,05%	0,22	3,96%
Pontual	Esgoto	8,81	78,09%	2,99	53,00%
	TOTAL	11,278	100%	5,662	100%

Fonte: COGERH

3.3 - Características Geoambientais

O Açude Acarape do Meio está inserido no maciço de Baturité, onde ocorrem os tipos climáticos Amw' de Köppen e 6b de Gaussen, com precipitações pluviométricas médias anuais de 1.700mm, praticamente sem estação seca. (FUNCEME, 2013a). A temperatura média anual varia entre 26° a 22° (CEARÁ, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d, 2012e e 2012f).

As principais formas de vegetação existente na sua bacia hidrográfica são dos tipos: Florestas Subcaducifólia Tropical Pluvial (mata seca) e Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (matas úmidas, serranas) (Ceara, 2013)

Os principais tipos de solos que ocorrem são: Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho-Amarelo e Bruno não Cálcico CEARÁ, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d, 2012e e 2012f).

Geomorfologicamente, conforme Sousa (1978), a serra de Baturité integra o domínio dos Escudos e Maciços Antigos. Possui orientação predominante NNE - SSW, com níveis altimétricos que alcança de 600 a 800 m, em média, chegando a atingir 1.114 m na localidade de Pico Alto (Sousa e Oliveira, 2006) Suas características geomorfológicas estão subordinadas às influências litológicas e estruturas pretéritas aos mecanismos de flutuações climáticas Cenozóicas e aos processos morfodinâmicos atuais (FRACALOSSI JÚNIOR, 2013).

Conforme FRACALOSSI JÚNIOR (2013), geologicamente a região da serra de Baturité está condicionada ao denominado Complexo Nordeste (RADAMBRASIL, 1981 *Apud* FRACALOSSI JÚNIOR, 2013) posicionado estratigraficamente no pré-Cambriano como substrato das seqüências supracrustais. Está representado por uma ampla e complexa associação de rochas, predominando os migmatitos, gnaisses, gnaisses migmatizados, granitóides, quartzitos, calcários cristalinos e rochas calciossilicatadas.

3.4 Amostragem

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH dispõe de diversos dados de qualidade de água do Açude Acarape do Meio e, deste amplo banco de dados, foram extraídos e organizados os dados quantitativos e qualitativos do fitoplâncton, concentração de fósforo, nitrogênio total e clorofila *a*. A coleta e o processamento destes dados são de responsabilidade da Gerência de desenvolvimento Operacional – GEDOP, desta companhia.

As amostras foram coletadas por técnicos da COGERH em 03 pontos, onde são realizadas as análises para fitoplânctons, do açude (TABELA 4 E FIGURA 8), na superfície d'água com profundidade máxima de 0,30 m no período de maio/2012 a maio/2013, num total de 13 coletas, sendo que as amostras coletadas no mês de novembro/2012, para fitoplâncto foram descartadas.

Tabela 4 - Contendo a localização e descrição dos pontos amostrados no açude Acarape do Meio, durante a pesquisa neste reservatório. A denominação dos pontos são os mesmos utilizados pela COGERH.

PONTOS	DESCRIÇÃO DOS PONTOS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM)	
		LATITUDE	LONGITUDE
ACA-02	Eixo do rio Pacoti e entrada que vem da cidade de Pacoti.	520320	9537212
ACA-05	Eixo do rio Pacoti.	521297	9536533
ACA-09	Próximo à captação da adutora.	522293	9536522

Fonte: Autor



Figura 8 - Localização dos pontos de coleta no açude Acarape do Meio. Os pontos foram plotados no Google Earth.

3.5 Tratamento estatístico e apresentação gráfica dos resultados

Os dados obtidos foram submetidos à análise descritiva, determinando-se as funções principais, como: médias, desvio padrão estimativa dos valores máximos e mínimos e correlações. Alguns dados foram apresentados na forma de tabelas e

de gráficos (pizza, coluna e coluna, linha e de regressão linear) para uma melhor interpretação dos resultados. Para a realização dos cálculos destas funções e a confecção de gráficos foram utilizados os aplicativos Microsoft Excel e CALC (planilha eletrônica que integra a suíte OpenOffice e suas versões BrOffice e Libre Office).

3.6 Dados de Chuvas

O posto pluviométrico utilizado nesta pesquisa para avaliar o comportamento das chuvas no período de amostragem foi o de Redenção. Esta escolha baseou-se em estudos da COGERH (dados não publicados), através do qual foi feita uma correlação entre o aporte de água do açude Acarape do Meio e o comportamento das chuvas medidas nos posto pluviométrico da Funceme que podem contribuir para a recarga deste manancial. Estes dados pluviométricos foram obtidos no banco de dados da FUNCEME.

3.7 Cálculo da razão Nitrogênio e Fósforo (N/P)

Como já mencionado anteriormente, a relação entre as concentrações de nitrogênio (representado pelas frações amoniacal, nitroso e nítrico) e de fósforo (representado pelo sal fosfato) permite concluir sobre a ocorrência do nutriente limitante no processo de eutrofização.

Para o cálculo da razão entre nitrogênio e fósforo neste trabalho serão utilizadas as seguintes equações:

$$N_T = CT_N / MA \dots\dots\dots\text{equação (1)}$$

onde:

N_T = nitrogênio total

CT_N = concentração total do nitrogênio, encontrado no manancial estudado, expressa em mg/L.

MA = massa atômica do nitrogênio (Mg/mol)

$$P_T = CT_P / MA \dots\dots\dots\text{equação (2)}$$

onde:

P_T = fósforo total

CT_P = concentração total do fósforo, encontrado no manancial estudado, expressa em mg/L.

MA = massa atômica do fósforo

$$N/P = N_T/P_T \dots\dots\dots\text{equação (3)}$$

onde:

N_T = nitrogênio total

P_T = fósforo total

Se a razão N/P for consideravelmente superior a 16 há indicação de que o fósforo seja o nutriente limitante (VON SPERLING, 1996). Entretanto, quando o oposto ocorre, baixa razão N:P (<16:1), assume -se que o ambiente seja limitado por N (HECKY e KILHAM 1988; Elser *et al.*, 1990; SCHINDLER *et al.*, 2008; PTACNIK *et al.*, 2010 *Apud* e SILVA, 2012). Com base nestes autores, a determinação do nutriente limitante (P e N) seguiu os critérios contidos na Tabela 5.

Tabela 5 – critérios para determinar o nutriente limitante.

Nutriente Limitante	Critério
Fósforo	N:P > 16
Nitrogênio	N:P < 16

3.8 Índices de Estado Trófico – IET

O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2013b).

Para determinação do estado de eutrofização do manancial foram utilizados os Índices de Estado Trófico estabelecidos por Carlson (1977), modificado por Toledo *et al.* (1983) e Lamparelli (2004).

O índice proposto por Carlson, (1977), se baseou em dados obtidos em lagoas de clima temperado, que por sua dinâmica ambiental diferenciada em relação aos dos países como o Brasil, de clima predominantemente tropical, foi modificado por TOLEDO *et al.*, (1983) (OLIVEIRA, 2009).

Para o cálculo do IET de Carlson (1977), modificado por Toledo Jr. *et al.* (1983), não foi utilizado a transparência. As equações empregadas foram as seguintes:

$$\text{IET(PT)} = 10 \times \{6 - [\ln(80,32 / \text{PT}) / \ln 2]\} \dots\dots\dots \text{equação (5)}$$

$$\text{IET(Cl "a")} = 10 \times \{6 - [(2,04 - 0,695 \times (\ln \text{Cl "a"})) / \ln 2]\} \dots\dots\dots \text{equação (6)}$$

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

ln:logaritmo natural.

O cálculo do IETM (médio) foi expresso a partir da média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila-a, conforme a seguinte equação:

$$\text{IET (Médio)} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2 \dots\dots\dots \text{equação (7)}$$

A Classificação do estado trófico segundo índice de Carlson, modificada por Toledo encontra - se na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação do Estado Trófico desenvolvido por Carlson e adaptado por Toledo.

ESTADO TRÓFICO	CRITÉRIOS
Oligotrófico	IET ≤ 44
Mesotrófico	44 < IET ≤ 54
Eutrófico	54 < IET ≤ 74
Hipereutrófico	IET > 74

Fonte: Toledo (1983) *Apud* Oliveira (2009).

Conforme Trindade (2011) o IET de Carlson (1977) foi modificado por Toledo *et. al.* (1984). Esse novo índice foi alterado por Lamparelli (2004), a partir de dados da Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo da CETESB. Onde foram amostrados 34 pontos em reservatórios e 35 em rios.

Para o cálculo do índices de estado trófico proposto por Lamparelli (2004) para reservatórios, foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) \dots \dots \dots \text{equação (8)}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT}) / \ln 2)) \dots \dots \dots \text{equação (9)}$$

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

ln: logaritmo natural.

Nos meses em que estejam disponíveis dados de ambas variáveis, o resultado apresentado nas tabelas do IET será a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila a, segundo a equação:

$$\text{IET (Médio)} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2 \dots \dots \dots \text{equação (10)}$$

A Classificação do estado trófico segundo índice de Carlson, modificada por Lamparelli encontra - se na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação do Estado Trófico desenvolvido por Calson e adaptado por Lamparelli

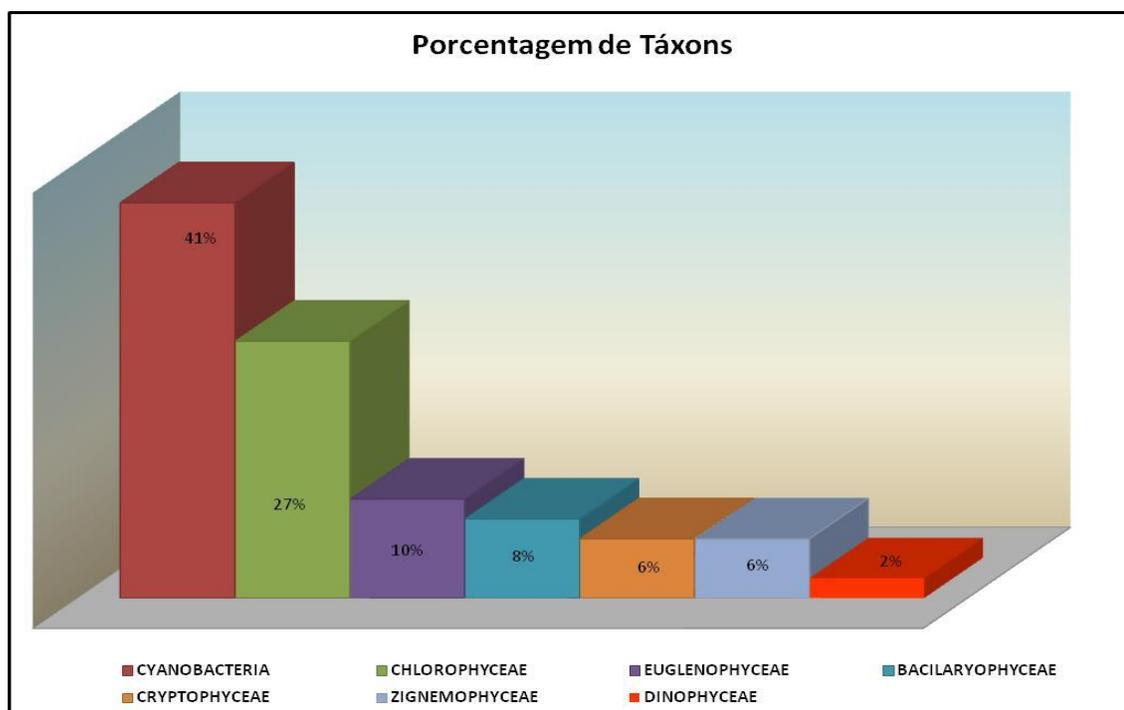
ESTADO TRÓFICO	CRITÉRIOS
Ultraoligotrófico	IET \leq 47
Oligotrófico	47 < IET \leq 52
Mesotrófico	52 < IET \leq 59
Eutrófico	59 < IET \leq 63
Supereutrófico	63 < IET \leq 67
Hipereutrófico	IET > 67

Fonte: Lamparelli (2004).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises qualitativas das amostras voltadas para a identificação do fitoplâncton presente no açude Acarape do Meio durante o estudo (maio de 2012 a maio de 2013), revelaram a existência de 49 táxons (TABELA 8) distribuídos em 07 classes (Figura 08): Cianobacteria (41%) com 1 ordem, 11 gêneros e 08 espécies; Chlorophyceae (27%) com 08 gêneros e 05 espécies; Euglenophyceae (10%) com 02 gêneros e 03 espécies; Bacillariophyceae (08%) com 01 filo, 02 gêneros e 01 espécie; Zignemaphyceae (06%) com 02 gêneros e 01 espécie; Cryptophyceae (06%) com 02 gêneros e 01 espécie e a Dinophyceae (02%) com 01 gênero.

Figura 9 - Classes taxonômicas da comunidade fitoplanctônica do açude Acarape do Meio durante o período de maio/12 a maio/13.

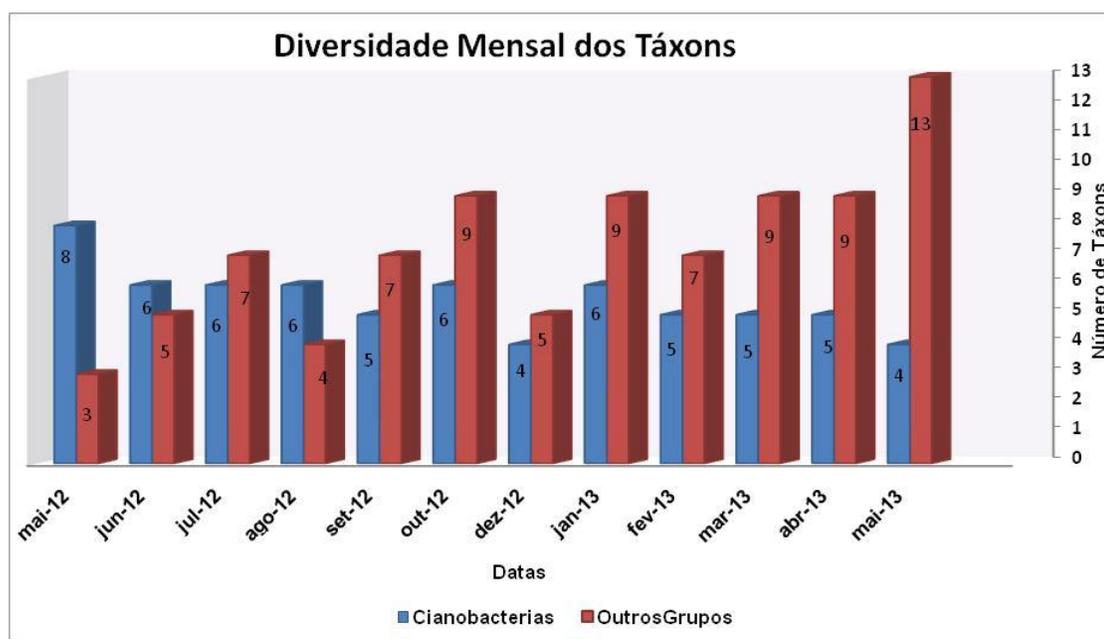


Fonte: Autor.

As Cianobactérias, as Chlorophyceae, as Cryptophyceae e as Bacillariophyceae estiveram presentes em todas as amostragens, enquanto as demais tiveram a seguinte distribuição: a Euglenophyceae e Zignemaphyceae ocorreram somente no 2º semestre de 2013 e a Dinophyceae, foi evidenciada somente em setembro de 2012 (TABELA 8).

Com base na Figura 10, observa-se que o período onde ocorreu a maior diversidade fitoplanctônica foi no mês de maio de 2013, com 17 táxons, sendo 4 da classe das cianobactérias e o restante de algas. Já a menor biodiversidade foi observada nos meses de maio, julho e agosto de 2012, com a seguinte distribuição de indivíduos: as cianobactérias com 8, 7 e 6 e as outras algas 3, 5 e 4.

Figura 10 - Distribuição mensal dos táxons durante o período (maio/12 a maio/13) de estudo no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

Tabela 8 Distribuição dos táxons identificados no açude Acarape do Meio, Redenção – CE, durante o período de estudo (maio/12 a maio/13). A letra "x" indica a presença de táxon e o sinal "-" indica a ausência de táxon.

TÁXONS	PERÍODO DE AMOSTRAGEM											
	05/12	06/12	07/12	08/12	09/12	10/12	12/12	01/13	02/13	03/13	04/13	05/13
CYANOBACTERIA												
1- <i>Aphanocapsa delicatissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
2- <i>Aphanocapsa sp.</i>	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
3- <i>Chroococcales</i>	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-
4- <i>Chroococcus dispersus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
5- <i>Chroococcus sp.</i>	X	-	X	-	-	-	-	X	X	X	-	-
6- <i>Cuspidothrix sp.</i>	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
7- <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8- <i>Cylindrospermopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 - <i>Geitlerinema sp.</i>	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-
10- <i>Lyngbya limnetica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
11- <i>Merismopedia sp.</i>	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
12- <i>Merismopedia tenuissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
13- <i>Oscillatoria sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
14- <i>Planktolyngbya sp.</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15- <i>Planktothrix agardhii</i>	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-
16- <i>Planktothrix sp.</i>	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
17- <i>Pseudanabaena catenata</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
18- <i>Pseudanabaena moniliformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
19- <i>Pseudanabaena sp</i>	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
20- <i>Synechocystis sp.</i>	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Subtotal Táxons	8	6	6	7	5	7	4	6	6	5	5	4

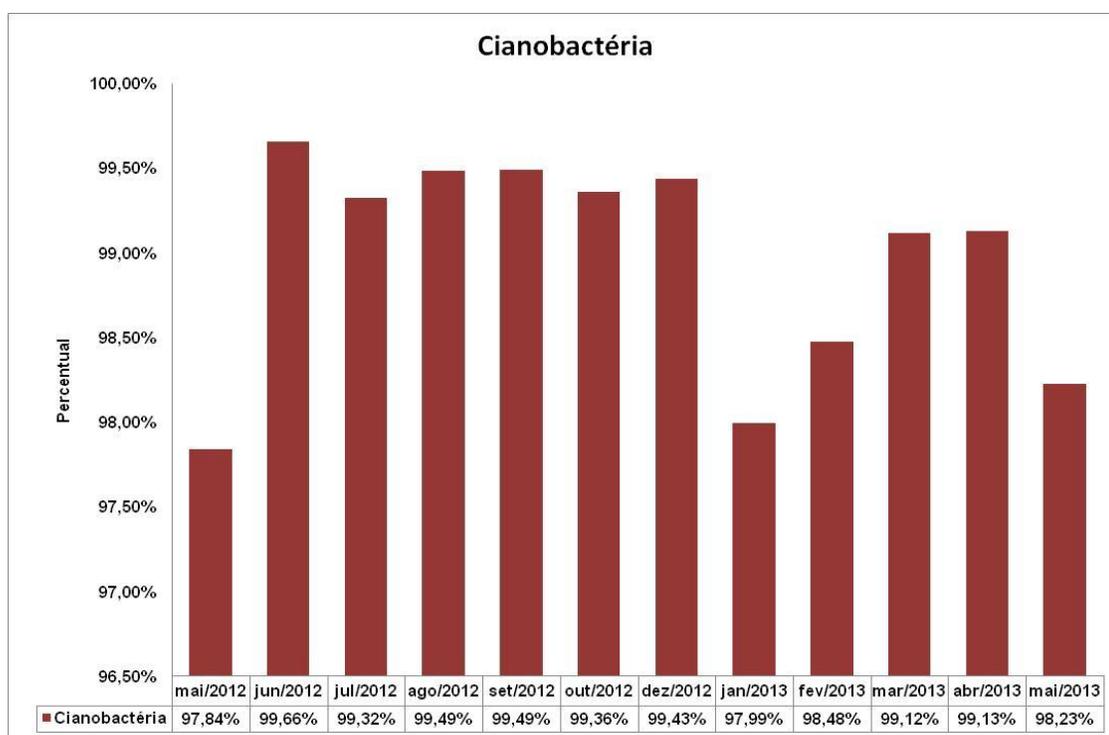
Fonte: Autor.

TÁXONS	PERÍODO DE AMOSTRAGEM											
	05/12	06/12	07/12	08/12	09/12	10/12	12/12	01/13	02/13	03/13	04/13	05/13
BACILARYOPHYCEAE												
1- <i>Bacillariophyta</i>	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
2- <i>Cyclotella meneghiniana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
3- <i>Cyclotella sp.</i>	-	X	-	-	X	X	X	-	-	X	-	X
4- <i>Nitzschia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
Subtotaltotal Táxons	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2
CHLOROPHYCEAE												
1- <i>Coelastrum sp.</i>	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	X
2- <i>Crucigenia sp.</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3- <i>Dictyosphaerium sp.</i>	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-
4- <i>Monoraphidium contortum</i>	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	-
5- <i>Monoraphidium irregulare</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-
6- <i>Monoraphidium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X
7- <i>Oocystis sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
8- <i>Scenedesmus acuminatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-
9- <i>Scenedesmus acutus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
10- <i>Scenedesmus sp.</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11- <i>Schroederia sp.</i>	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
12- <i>Tetraedron minimum</i>	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
13- <i>Tetraedron sp.</i>	-	-	X	-	-	-	X	-	-	X	-	-
Subtotaltotal Táxons	1	2	5	2	3	4	1	3	4	3	3	4
CRYPTOPHYCEAE												
1- <i>Cryptomonas marssonii</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-
2- <i>Cryptomonas sp.</i>	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X
3- <i>Rhodomonas sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-
Subtotaltotal Táxons	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1

TÁXONS	PERÍODO DE AMOSTRAGEM											
	05/12	06/12	07/12	08/12	09/12	10/12	12/12	01/13	02/13	03/13	04/13	05/13
EUGLENOPHYCEAE												
1- <i>Euglena acus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
2- <i>Phacus sp.</i>	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
3- <i>Trachelomonas armata</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X
4- <i>Trachelomonas sp.</i>	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	X	X
5- <i>Trachelomonas volvocina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X
Subtotalal Táxons	0	0	0	0	0	2	2	2	1	2	2	4
ZIGNEMOPHYCEAE												
1- <i>Cosmarium sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
2- <i>Staurastrum lunatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X
3- <i>Staurastrum sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
Subtotalal Táxons	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	2
DINOPHYCEAE												
1- <i>Peridinium sp.</i>	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Subtotalal Táxons	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Total Táxons	11	11	13	11	12	16	9	15	13	15	14	17

As Cianobactéria compuseram 40% dos táxons identificados no reservatório más, em termos do número de organismos identificados, chegaram próximo à totalidade da comunidade fitoplanctônica, variando entre 97,84 em maio de 2012 a 99,66% em junho de 2012 (FIGURA 11 e ANEXO I e II). Já os demais grupos, as algas, apesar de terem representado 60% dos táxons identificados, representaram apenas entre 2,16% (maio/2012) e 0,34% (junho/2012) do total de células quantificadas no reservatório (FIGURA 12).

Figura 11 – Abundância relativa da contagem de célula das cianobactérias do açude Acarape do Meio no período de amostragem compreendida de maio/12 a maio/13.

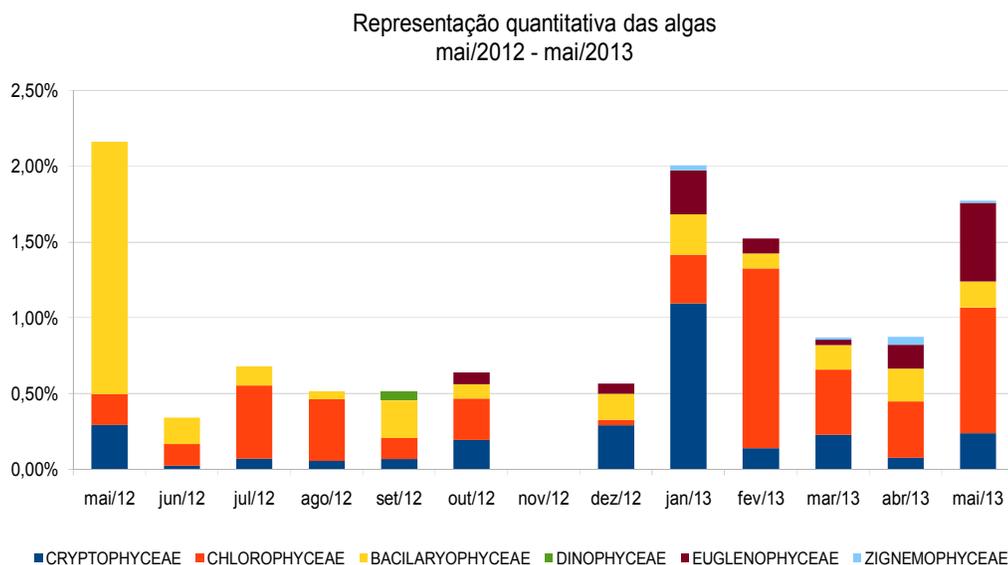


Fonte: Autor.

Carloto (2013) estudando o reservatório Sítios Novos, localizado no município de Caucaia, região metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil, no período de jan/2010 a jun/2011, verificou que a comunidade fitoplanctônica estava representada por 46% de cianobactérias e os 54% restante por outros grupos de algas. Sendo que estas representaram menos de 10% dos organismos quantificados com exceção de uma amostragem. Costa *et.al.* (1999) ao analisar a comunidade fitoplanctônica do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves no Rio Grande do Norte,

verificou que as cianobactérias representavam de 90% a 100% da densidade total dos fitoplânctons.

Figura 12 - Representação quantitativa das algas do açude Acarape do Meio no período de amostragem compreendida de maio/12 a maio/13.



Fonte: Autor.

Devido à quase predominância dos indivíduos pertencentes à classe das Cyanobacteria em todo o período de amostragem, resolveu-se focalizar doravante nesta classe fitoplanctônica.

4.1 Classe das cianobactérias

Foram identificados 20 tipos de indivíduos na classe Cyanobacteria. A maior diversidade destes indivíduos foi verificada no mês de maio de 2012, em número de 8 espécies, e a menor no mês de maio de 2013 com 3 espécies. Com referência a densidade celular média mensal desta classe, a máxima ocorreu no mês de abril de 2013 com $1.405.692 \text{ cél.mL}^{-1}$ e a mínima em Janeiro de 2013, com $238.703 \text{ cél.mL}^{-1}$ (ANEXO I). A espécie que predominou durante todo o levantamento deste trabalho, tanto em relação às Cianobacteria quanto às outras algas, foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*.

4.1.1 *Cylindropermopsis raciborskii*

Esta espécie apresentou participação da densidade média (cél/volume) no período estudado de 65,53% do número de células (ANEXO I). A sua maior concentração de células média foi de 1.121.328 cél.mL⁻¹, no mês de abril de 2012 e a menor de 41.020 cél.mL⁻¹, no mês de janeiro de 2013 (ANEXO I). Este último período coincide com a única aparição do gênero *Cylindropermopsis* sp, com uma participação de 49,27% e uma densidade média celular de 117. 598 cél.mL⁻¹.

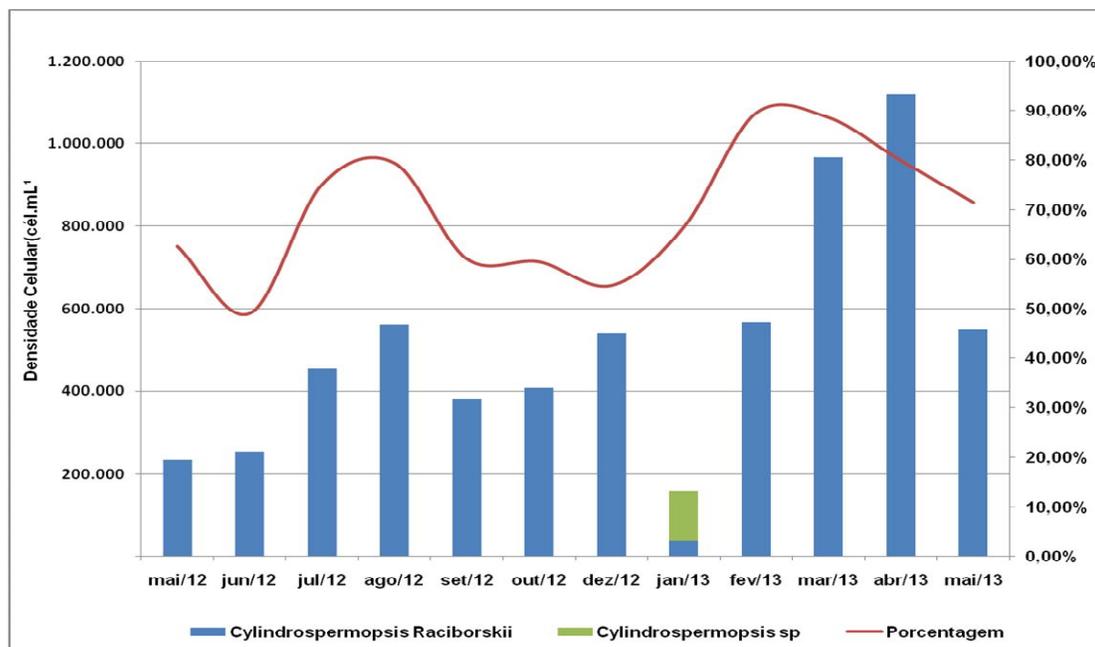
Esta diminuição do número de *Cylindropermopsis raciborskii* com concomitante aparecimento da *Cylindropermopsis* sp. pode indicar que na prática, a primeira não teve seu número reduzido, mas apenas não foi identificada ao nível de espécie.

No citado período, a *Cylindropermopsis raciborskii* teve o seguinte comportamento na sua concentração: de maio a setembro de 2012 ocorreu um aumento de células progressivo. Já no mês de agosto de 2012, decresceu em torno de 32,14% com referência ao mês de setembro e voltou a crescer nos meses de novembro e dezembro de 2012 (FIGURA 13).

No mês de janeiro de 2013, observou-se um declínio extremamente acentuado, em torno de 92,43% em relação ao mês de dezembro de 2012. Como citado anteriormente, este período corresponde ao único aparecimento do *Cylindropermopsis* sp. Já o trimestre, fevereiro, março e abril de 2013, correspondeu ao maior aumento registrado na concentração desta cianobactérias.

O último mês da amostragem, maio de 2013, observou-se um decréscimo expressivo, em torno de 50,87%, em relação ao mês de abril de 2013 (FIGURA 13. ANEXOS I).

Figura 13 – Comportamento quantitativo da *Cylindropermopsis Raciborskii* no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.



Fonte: Autor

Diferente dos resultados nesta pesquisa, Pacheco (2009) estudando a classe Cianobacteria no açude Acarape do Meio, verificou que as espécies *Cylindropermopsis raciborskii* e a *Planktothrix agardhii* estavam presente em todas as 7 estações estudadas e que a primeira apresentou densidade acima de 50% e dominância em 05 dos 7 pontos amostrados nos quase oito meses, enquanto a segunda apresentou dominância em dois pontos em dois meses. No presente trabalho, a *Planktothrix agardhii* ocorreu nos meses de maio, setembro e outubro de 2012, mostrando uma contribuição de 1,24% da densidade celular média total das cianobactérias e não dominou em nenhum período.

Bouvy *et al.* (2000), ao realizarem um estudo de fitoplâncton em 39 açudes do Estado de Pernambuco, verificaram que o gênero *Cylindropermopsis* ocorreu em 31 reservatórios, representando mais de 50 % da densidade total de fitoplancton em 43% dos mananciais pesquisados.

Barros (2013), analisando a comunidade fitoplanctônica de 9 reservatórios localizados em 05 bacias hidrográficas do Estado do Ceara, verificou a dominância de cianobactérias nestes mananciais, frequentemente maior que 90% da biomassa total. Com relação à *Cylindropermopsis raciborskii* sua presença foi evidenciada em

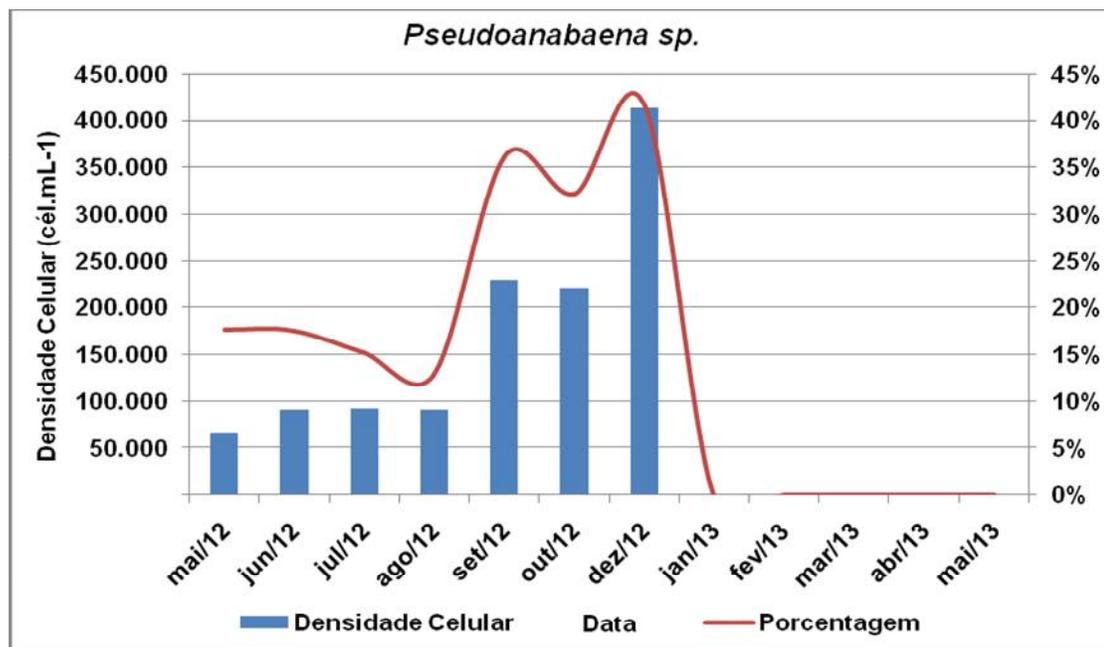
todos os reservatórios estudados, sendo dominante em três reservatórios Serafim Dias (60 %), açude do Coronel (73%) e Acarape do Meio (64%). Pode-se *observar que a diferença entre a frequência da *Cylindropermopsis raciborskii* no açude Acarape do Meio entre o estudo Barros (2013) e do presente trabalho foi mínima (1,53%).*

Grande parte das pesquisas em açude nordestino tem mostrado que a *Cylindropermopsis raciborskii* vem ocorrendo com muita frequência, por vezes, dominando a comunidade fitoplactônica e formando florações mistas com outras cianobactérias (BOUVY *et al.*, 2000, COSTA *et al.*, 2006). Nesta pesquisa as cianobactérias que se destacaram formando florações com *Cylindropermopsis raciborskii* foram: *Pseudanabaena sp*, *Pseudanabaena catenata*, *Merismopedia sp.*, *Planktothrix agardhii*, e *Oscillatoria sp*. Estas 2 últimas mostraram-se com densidades menores em relação as 3 primeiras, entretanto foram consideradas devido a serem potenciais produtoras de cianotóxina (COPESA, 2001; CETESB, 2005).

O gênero *Pseudanabaena sp* foi a segunda mais abundante do fitoplâncton, apresentando-se em 58% das amostras. Participou dos florescimentos mistos mais expressivos desta pesquisa, evidenciadas nos meses de setembro, outubro e dezembro de 2012, tendo uma participação neste último mês de 41,77% (FIGURA 14). Esta espécie desapareceu em janeiro de 2013. *Pseudanabaena catenata* foi à terceira espécie mais abundante do fitoplâncton, surgiu em janeiro/2013 e persistiu até maio de 2013, quando findou a amostragem. Participou com as maiores densidades nas florações dos meses de janeiro/2013, abril/2013 e maio/2013, com 25,49%, 16,52% e 22,83%, respectivamente (FIGURA 15).

Rangel *et al.* (2013), ao realizar um levantamento da comunidade de fitoplâncton no Açude Thomaz Osterne de Alencar, Crato-Ceará, diferente deste trabalho, verificou que a espécie *Pseudanabaena sp* destacou-se quanto à frequência de ocorrência, estando presente em 100% das amostras e sendo classificada como uma das espécies abundantes no citado manancial.

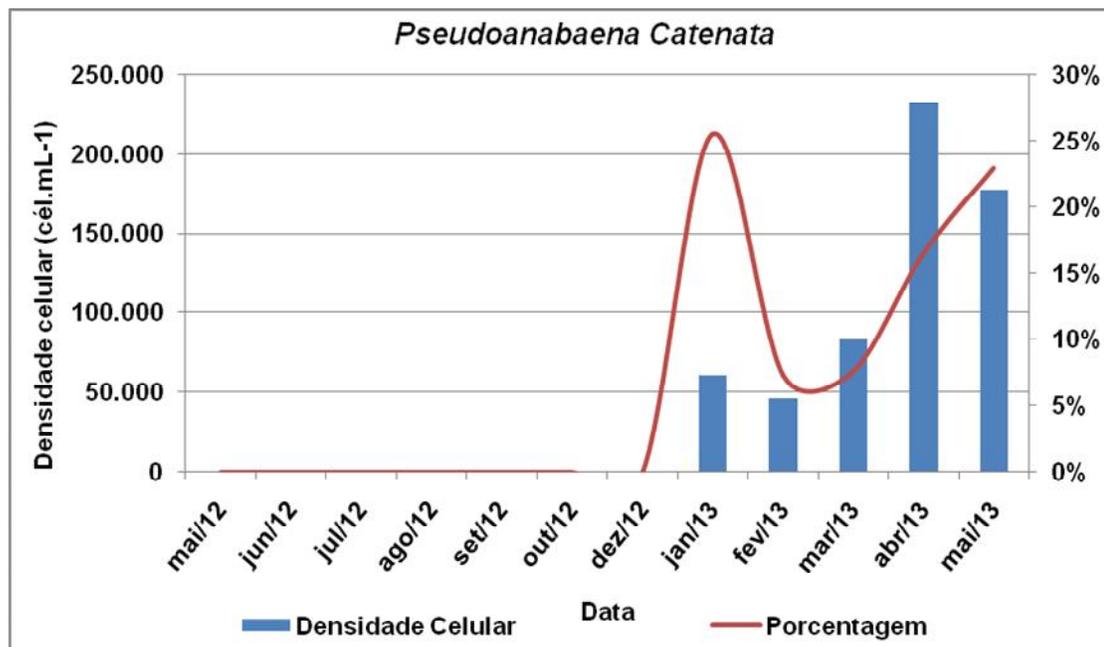
Figura 14 – Comportamento quantitativo da *Pseudoanabaena sp.* no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.



Fonte: Autor.

Menezes *et al.* (2012) ao levantarem a composição florística de cianobactérias e microalgas do Canal do Piraquê, lagoa Rodrigues de Freitas, Rio de Janeiro, verificaram que a *Pseudanabaena catenata* juntamente com a *Synechocystis salina*, *Heterocapsa pygmaeae* e *Thalassiosira weissflogii* foram os mais frequentes, ocorrendo, no mínimo, em 70% nas datas de amostragem. Pereira (2012) ao inventariar a composição de fitoplâncton da Barragem Norte, Espírito Santo, detectou que a espécie *Pseudoanabaena catenata* e a *Synechocystis* foram os táxons de maior contribuição numérica. Segundo o referido pesquisador, com base em Anagnostidis e Komárek (1988) o gênero *Pseubanabaena* pode possuir adaptação cromática que confere vantagens competitivas em ambientes com baixas luminosidades, o que foi verificado nos pontos amostrados de sua pesquisa.

Figura 15 - Comportamento quantitativo da *Pseudoanabaena Catenata* no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.



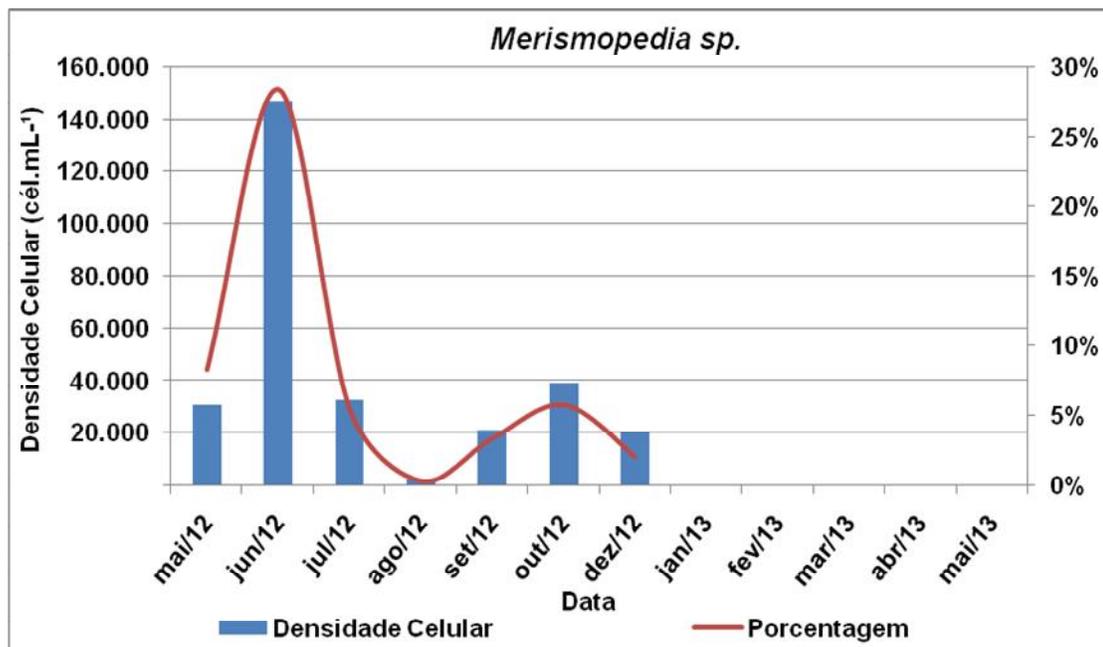
Fonte: Autor.

O gênero *Merismopedia* sp., neste estudo, esteve presente nos meses de maio a dezembro de 2012, tendo a sua maior contribuição na floração do mês de junho/2012, com 28,44% e uma densidade celular de 147.491 cél/mL (FIGURA 16).

A COGERH (2010) ao fazer um inventário ambiental no açude Colina, que abastece a sede do município de Quiterianópolis-Ce, detectou que o gênero *Merismopedia* sp. destacou-se entre as três espécies dominantes, apresentado uma concentração celular de 189.043 cél/mL.

Carloto *et al.* (2009) observaram em sua pesquisa na lagoa Itaperaoba localizada no Bairro da Serrinha, Fortaleza-Ce, que o gênero *Merismopedia* sobressaiu-se entre as outras cianobactérias, apresentando a segunda maior frequência e maior densidade celular média com e 94.332 cél/mL. Na análise quantitativa, esteve presente de forma expressiva, excedendo ao valor permitido pela legislação (50.000 cel/mL) e atingindo valores críticos no período de fevereiro a maio de 2008, aumentando ainda mais no período chuvoso. Este aumento, conforme os pesquisadores, pode estar relacionado ao maior tempo de residência da água.

Figura 16 – Comportamento quantitativo da *Merismopedia sp* no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.



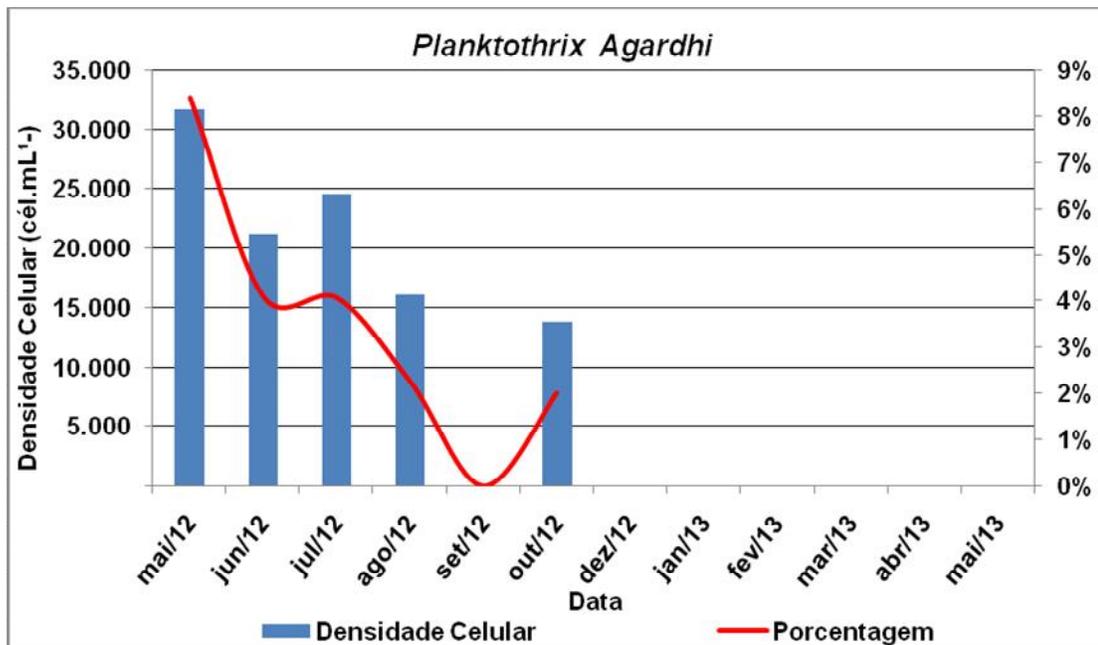
Fonte: Autor.

A espécie *Planktothrix agardhii* ocorreu em quase todo ano de 2012, com exceção do mês de setembro e dezembro. A sua maior densidade celular foi de 31.602 células/mL, verificada no mês de janeiro, tendo uma participação de 8,41% (FIGURA 17).

Carloto (2013), ao realizar estudo no açude Sítios Novos, Caucaia-Ce, para identificar cianobactérias produtora de cianotóxina, relata, ao contrário do padrão apresentado por esta espécie neste estudo, que a população de *Planktothrix agardhii* persistiu no reservatório em praticamente todos os meses amostrados, sendo as suas maiores concentrações observada no período de janeiro a junho de 2010 e atingindo a máxima concentração de 583.000 células/mL⁻¹.

Aragão (2001) ao estudar a taxonomia das cianobactérias em 19 reservatórios localizados em diferentes regiões fitogeográficas do Estado de Pernambuco, identificou a presença da *Planktothrix agardhii* em 11 em destes mananciais, estando dominante em seis.

Figura 17 – Comportamento quantitativo da *Planktothrix agardhii* no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.

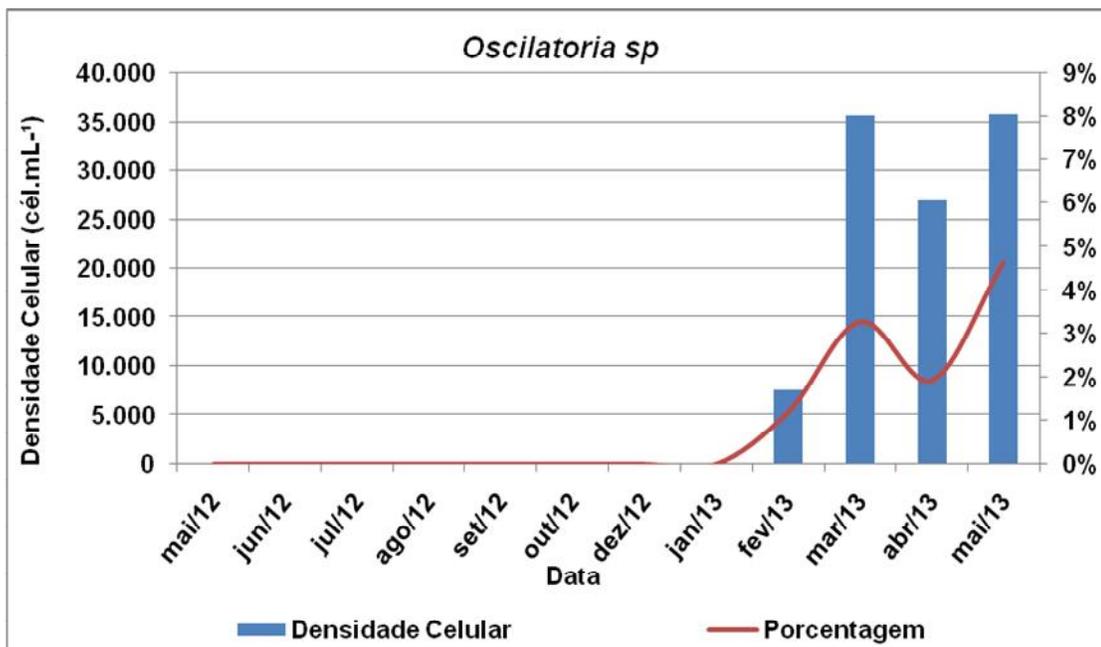


Fonte: Autor.

O gênero *Oscillatoria sp.* ocorreu de fevereiro a maio/2013, a sua maior representatividade no tocante a densidade celular manifestou-se em maio de 2013 com 35.839 cél.mL^{-1} , contribuindo com 4,62% do total do citado mês (FIGURA 18).

A *Oscillatoria sp* foi detectado por Barbosa (2012) ao estudar as águas do rio Cocó no trecho que passa ao lado do lixão do Jangurussu. Este organismo foi identificado em todos os pontos amostrados.

Figura 18 – Comportamento quantitativo da *Oscilatória sp* no açude Acarape do Meio no período de maio/2012 a maio/2013.



Fonte: Autor.

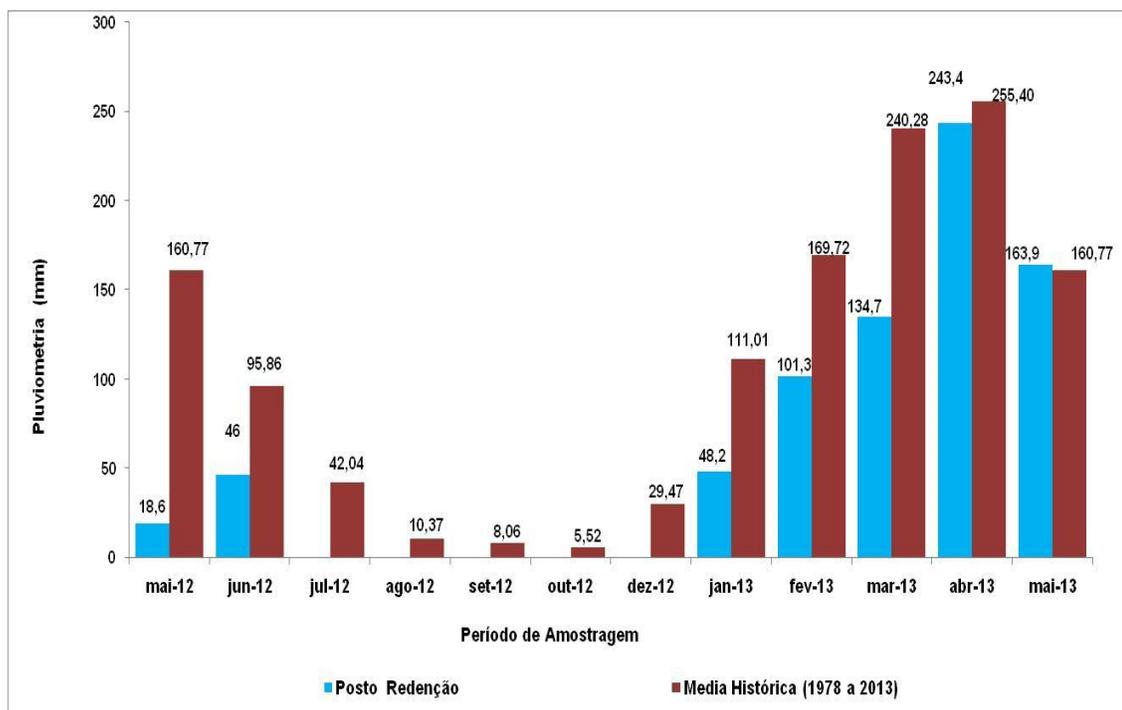
4.2 Influência de chuvas na composição da comunidade fitoplanctônica

No Ceará, as chuvas mais significativas iniciam-se em dezembro de cada ano e podem estender-se até junho ou julho, dependendo das condições oceânicas e atmosféricas atuantes. As chuvas que acontecem em dezembro e janeiro são chamadas chuvas de pré-estação e ocorrem mais intensamente na região do Cariri. Em fevereiro de cada ano inicia-se a chamada quadra chuvosa do Estado do Ceará, que se estende até maio. Nesse período, as chuvas são influenciadas, principalmente, pela presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), considerada o principal sistema ocasionador da pluviometria no norte do Nordeste. Já o verão, ou período seco, se estende de julho a novembro (PINHEIRO, 2003; FUNCEME, 2013b).

A Figura 19 mostra o comparativo entre a chuva medida no posto pluviométrico de Redenção durante todo o período de amostragem e a sua média histórica, compreendida entre os anos de 1978 a maio de 2013, neste mesmo período. Ao analisarmos a Figura 19, podemos verificar que o acumulado total da chuva com base na média histórica para o período de amostragem (maio/2012 a

maio/2013) é de 1.265,50 mm, enquanto o observado foi de 756,10 mm, portanto, ficando abaixo da média em 40,26%. Em relação à quadra chuvosa (fevereiro a maio) de 2013, o acumulado médio é de 937,18 mm e o observado foi de 691,15 mm, mostrando que as precipitações ficaram abaixo da média em 22,26%. A avaliação da precipitação observada durante a quadra chuvosa (fevereiro a maio) de 2013 indica que, as chuvas no Estado do Ceará ficaram abaixo da média, com desvio percentual de -37,7% em relação à normal climatológica (1980-2009). E a macrorregião do Maciço de Baturité, ficou abaixo da média em 30,50% (FUNCEME, 2013).

Figura 19 - mostrando o comparativo entre a chuva medida no posto de Redenção de maio /12 a maio/13 e a sua série histórica para o mesmo período no açude Acarape do Meio.

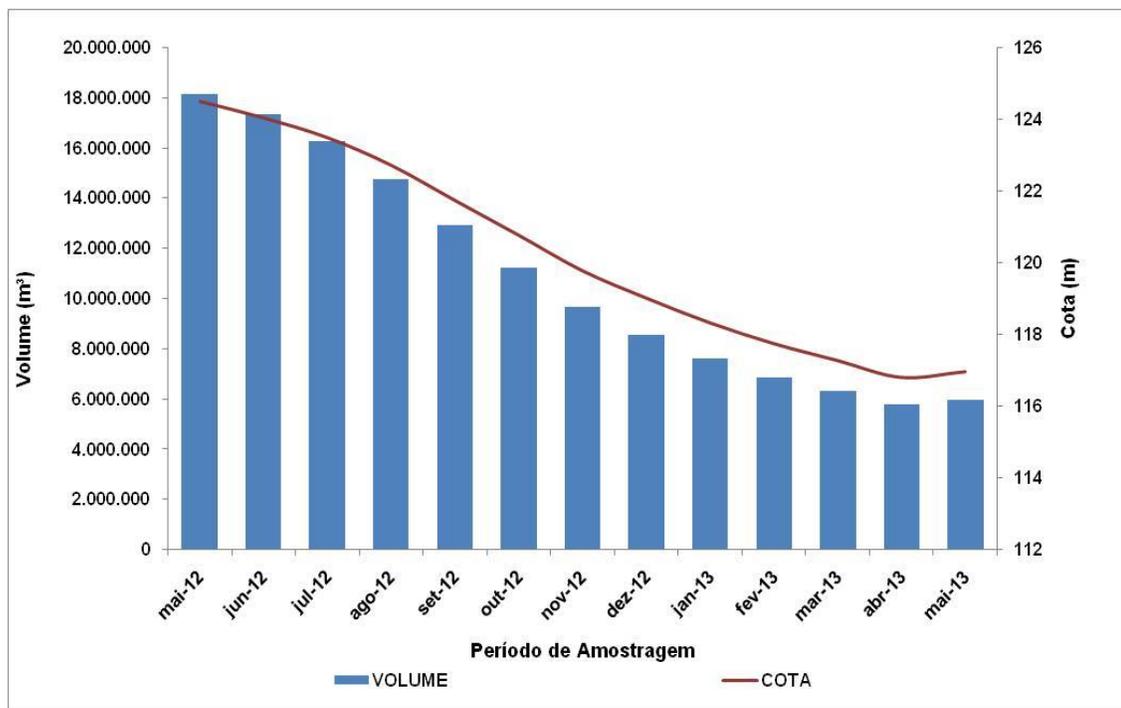


Fonte: Autor.

Um dos reflexos sentido no açude Acarape do Meio, ocasionado pelas chuvas abaixo da média no período chuvoso de 2013, foi que seu aporte de água foi menor que a evaporação e demais usos, tendo um decréscimo em seu volume, neste espaço de tempo, de 922.999 m³, aumentando assim, o seu tempo de residência.

Quando do início deste trabalho, maio de 2012, o açude Acarape do Meio estava com 57,56% (18,13 hm³) de sua capacidade, indicando que este reservatório não verteu (sangrou). O rebaixamento volumétrico e linear (cota) deste reservatório do início (maio/12) até o fim das coletas (maio/13), foi de 12.214.397 m³, e 7,53 m respectivamente.

Figura 20 – Mostrando o comportamento volumétrico e linear do açude Acarape do meio o período de pesquisa deste trabalho.

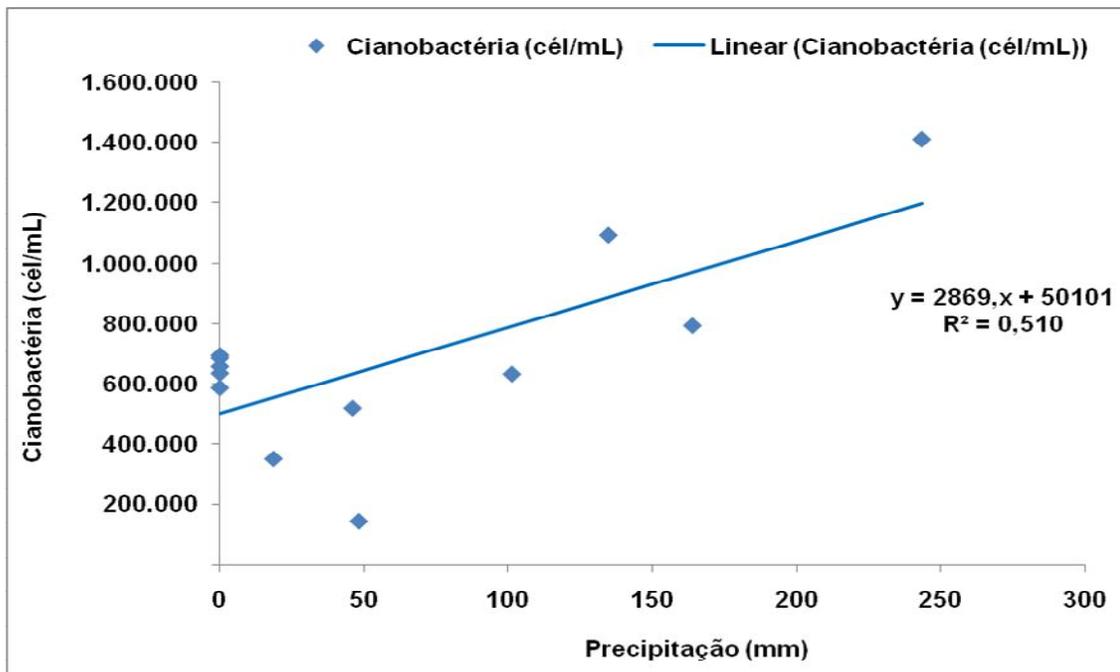


Fonte: Autor.

4.2.1 Comunidade Fitoplanctônica X Chuvas

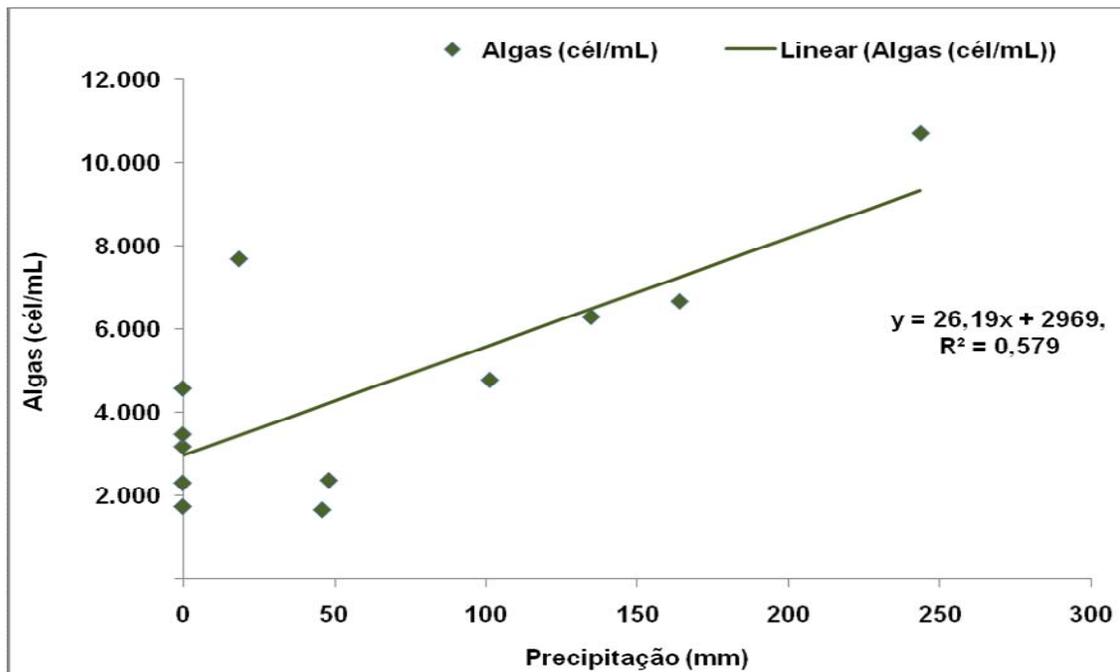
Foram correlacionadas as precipitações mensais com a concentração de algas e cianobactérias presentes. Observaram-se fortes correlações entre esses dois parâmetros, sendo de $R^2=0,510$ para cianobactérias (FIGURA 21) e $R^2=0,579$ (FIGURA 22) para as algas. De maneira geral, a comunidade fitoplanctônica apresentou maior densidade celular no período chuvoso. Já no período de estiagem observou-se uma relativa estagnação das concentrações celulares de cianobactérias e um pequeno aumento para o grupo das algas (FIGURAS 23 e 24).

Figura 21 - Correlação entre precipitação e concentração de cianobactéria no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



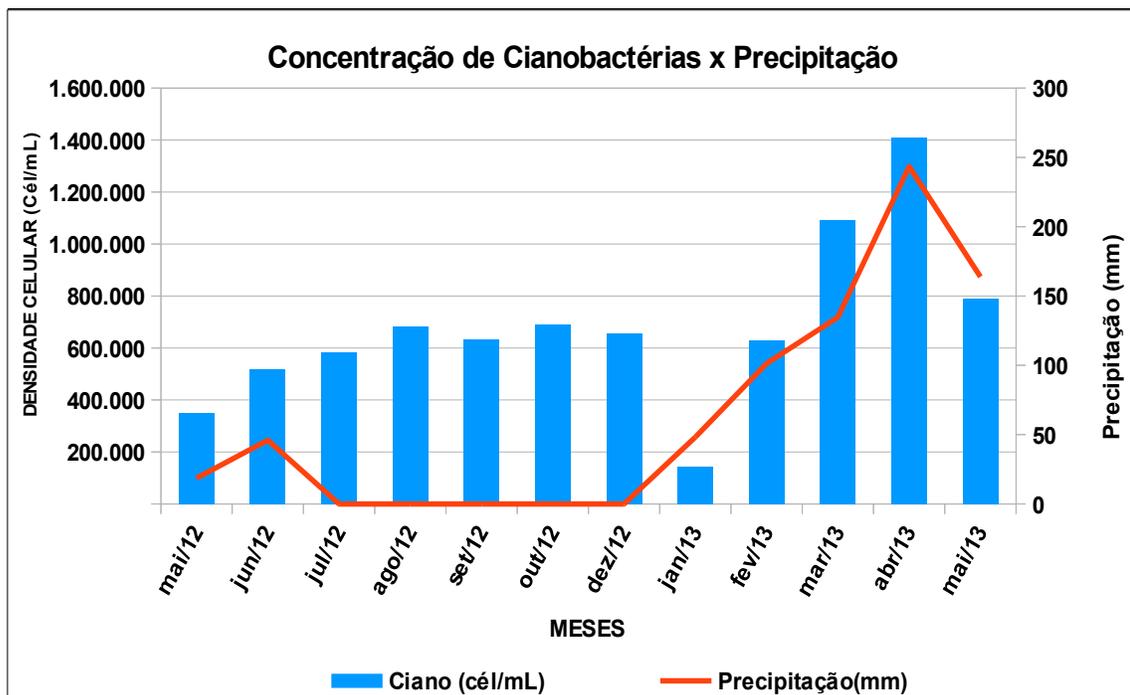
Fonte: Autor.

Figura 22 - Correlação entre precipitação e concentração de algas no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



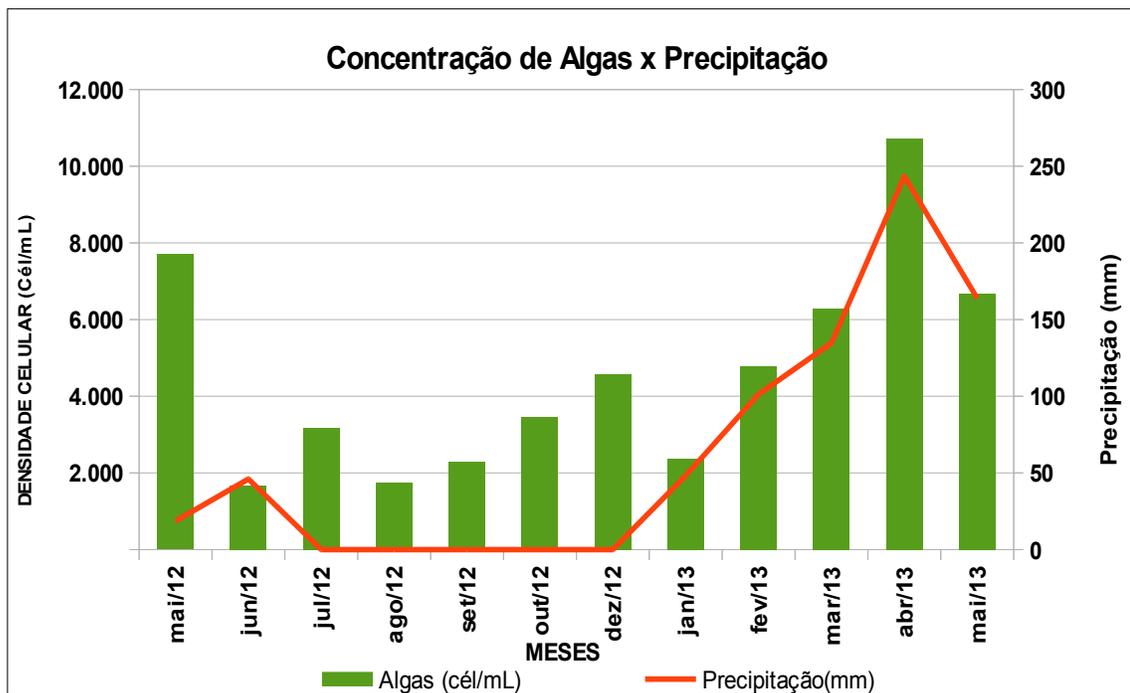
Fonte: Autor.

Figura 23 Relação entre precipitação e concentração de cianobactéria no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

Figura 24 - Relação entre precipitação e concentração algas no período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

Barros (2013) ao estudar este mesmo reservatório, observou que no período chuvoso de 2010 (Janeiro a Junho) a pluviometria apresentada foi de 511,8 mm, ficando abaixo da média histórica que é de 1051,27 mm e neste mesmo período as cianobactérias apresentaram uma média de concentração de 279.148,3 cel/mL. Já no período chuvoso de 2011, a pluviometria foi de 1211,4 mm, acima da média histórica. E a média de cianobactérias de 160.558 cel/mL. Pode-se inferir destes resultados que existe uma correlação inversa entre a intensidade de precipitação e a concentração de cianobactérias.

Já Carloto (2013), estudando um reservatório no semiárido cearense, observou uma situação inversa, pois no período de precipitações acima da média, ocorreu uma redução significativa da comunidade fitoplanctônica. Tal situação foi relacionada principalmente ao vertimento do reservatório e a renovação da água acumulada. Pivato *et al.* (2006) citando Tundisi (1990); Straškraba *et al.* (1993) Tundisi *et al.* (1993), explica que o curto tempo de residência da água comumente ocasiona perda de biomassa fitoplanctônica por lavagem hidráulica e choque mecânico. Por outro lado, um aumento no tempo de residência favorece o desenvolvimento do fitoplâncton, principalmente, pela redução do fluxo e maior estabilidade da coluna de água.

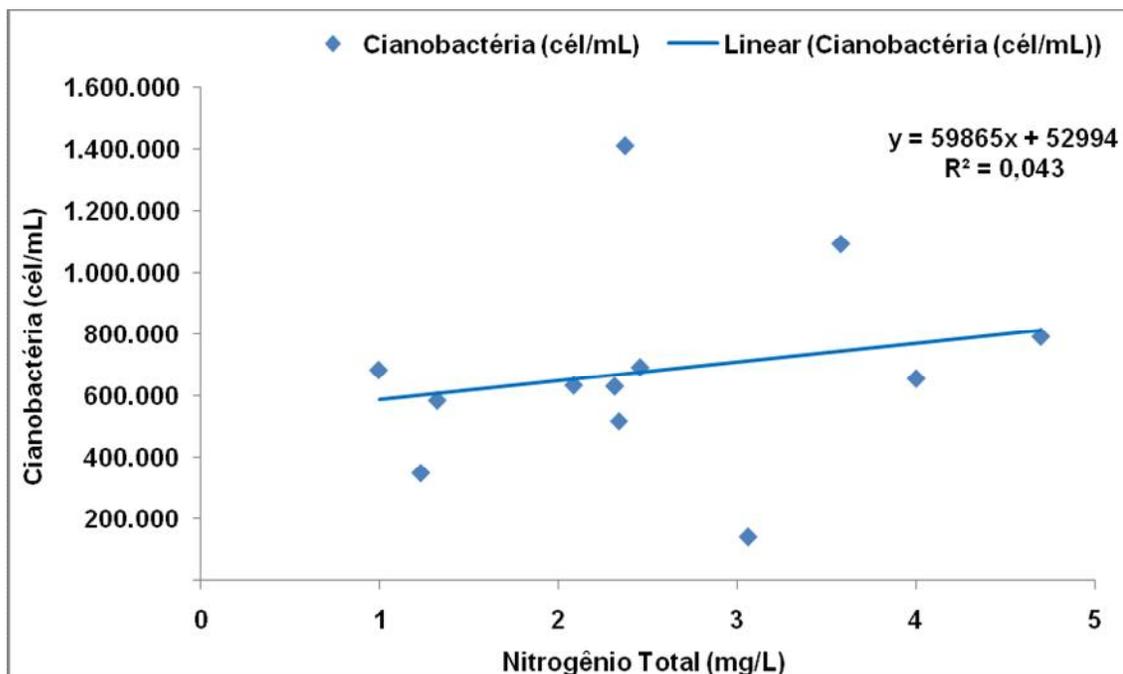
Outra similaridade encontra com o trabalho de Carloto (2013), foi o aumento no número de táxons identificados no período chuvoso em relação ao período de estiagem. Para o Açude Acarape do Meio foi observada uma média de 14 organismos no período chuvoso, contra 12 no período seco.

3 Influência de nutriente na composição da comunidade fitoplanctônica

4.3.1 Comunidade Fitoplanctônica X Nutrientes

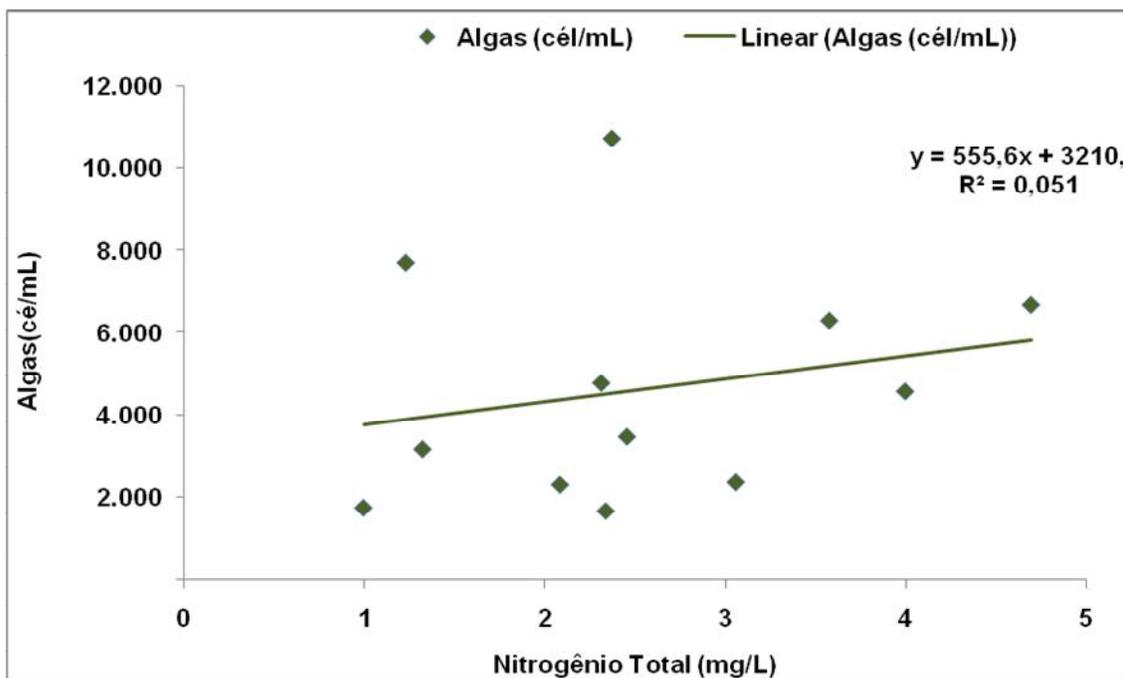
Não foi constatada significativa correlação entre o nitrogênio total (ANEXO III) e a densidade celular fitoplanctônica. Para o grupo das cianobactérias, a correlação foi de $R^2= 0,043$ (FIGURA 25) e para as algas $R^2= 0,051$ (FIGURA 26). Foi possível observar que as maiores concentrações de nitrogênio total ocorreram no período chuvoso, provavelmente causado pelo aporte de nutrientes carreados pelas chuvas (Figuras 27 e 28).

Figura 25 - Correlação entre cianobactéria e nitrogênio total período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



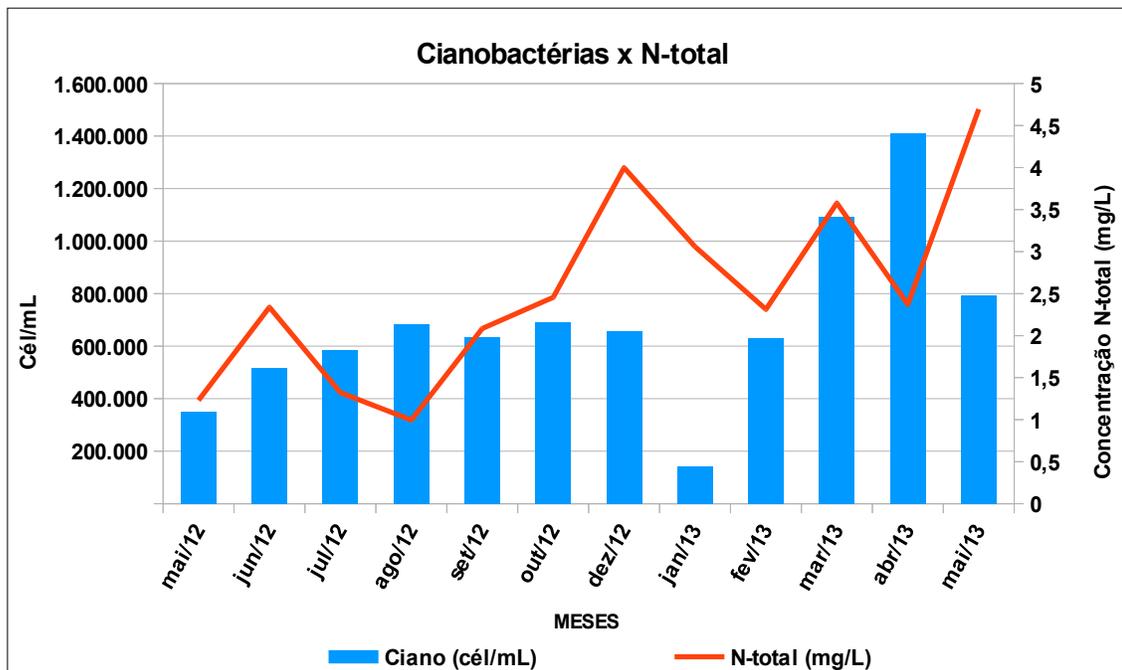
Fonte: Autor.

Figura 26 - Correlação entre algas e nitrogênio total período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



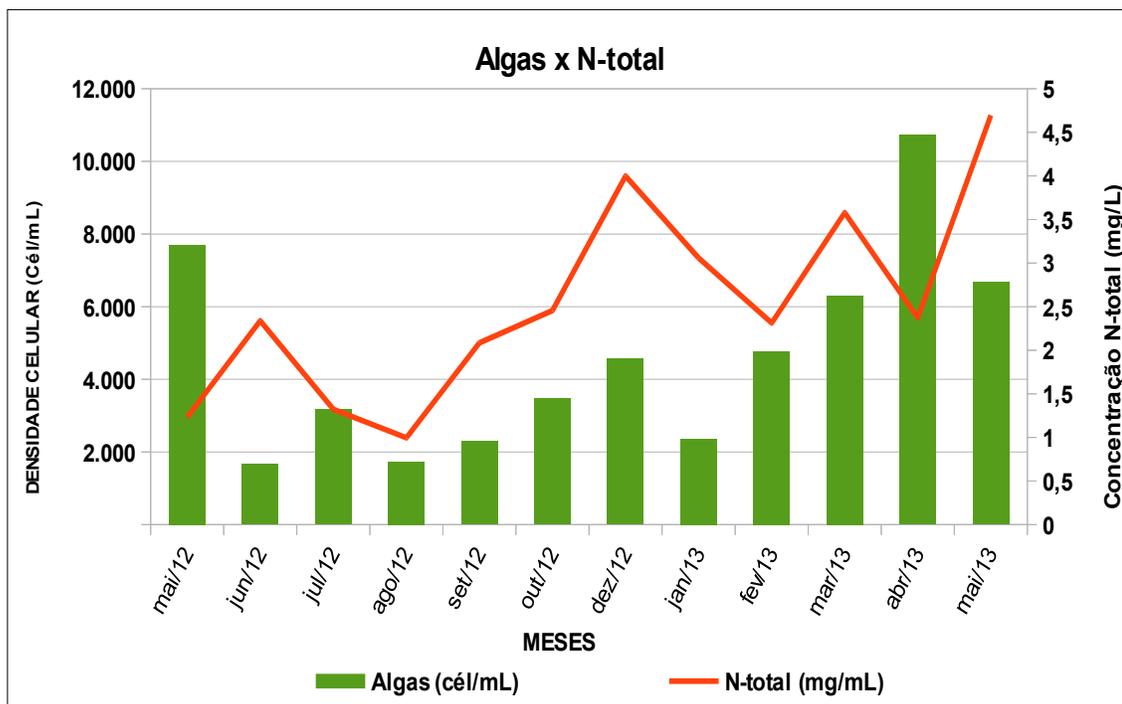
Fonte: Autor.

Figura 27 - Relação entre cianobactéria e nitrogênio total período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

Figura 28 - Relação entre algas e nitrogênio total período de maio/12 a maio/13 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

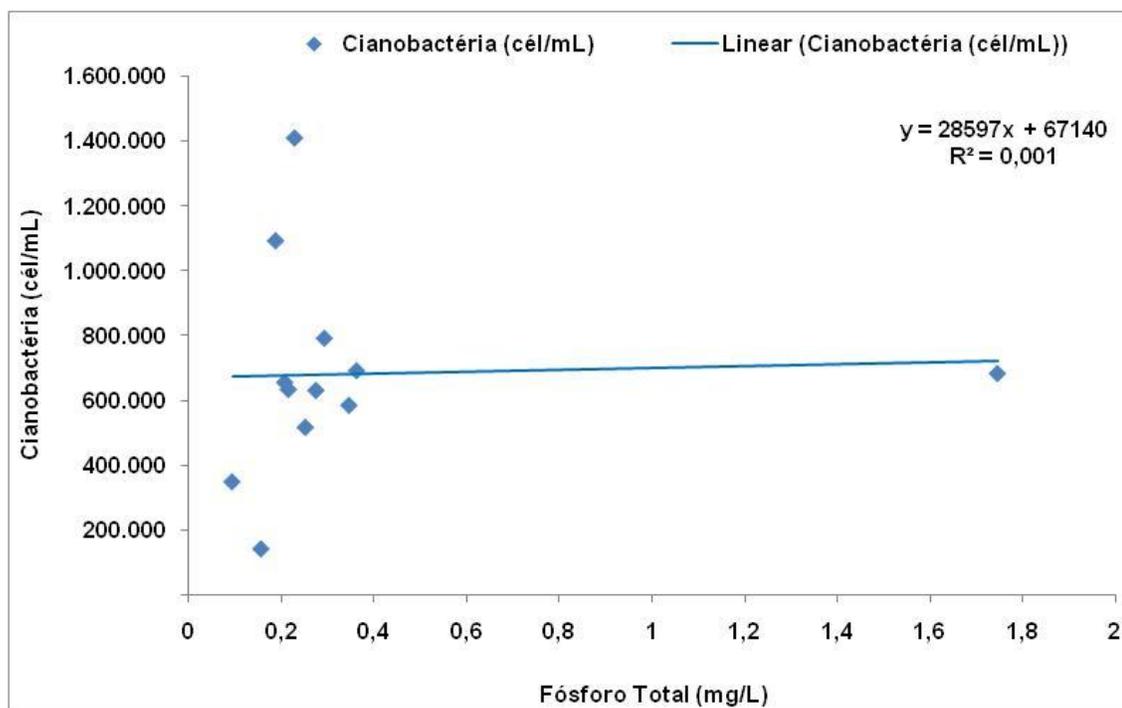
A baixa correlação com a análise quantitativa de fitoplâncton com o nitrogênio total pode ser explicada pela relação N:P (TABELA 9). Na maior parte do período de amostragem (9 dos 12 meses estudados), o fósforo, teoricamente, aparece como nutriente limitante. As altas razões N:P contrariam os estudos de Smith (1983) sobre a dominância quantitativa das cianobactérias em detrimento às algas, visto que conforme este autor, as razões superiores a 29:1, não favorecem a dominância de cianobactérias. Segundo Pacheco (2009), Smith reavaliou o limite desta razão, chegando à conclusão que a mesma seria de 22:1. No Açude Acarape do Meio foi observado que, dos 12 meses estudados, 5 tiveram uma razão maior que 22:1.

Tabela 9 – Cálculo mensal da razão N:P, referente ao período de pesquisa no açude Acarape do meio.

Meses	N_T	P_T	N:P
01/05/12	0,0879	0,0030	28,88
01/06/12	0,1670	0,0082	20,49
01/07/12	0,0945	0,0112	8,45
01/08/12	0,0711	0,0563	1,26
01/09/12	0,1489	0,0070	21,37
01/10/12	0,1754	0,0117	14,98
01/12/12	0,2856	0,0067	42,56
01/01/13	0,2185	0,0051	43,24
01/02/13	0,1652	0,0089	18,60
01/03/13	0,2555	0,0061	42,06
01/04/13	0,1694	0,0074	22,89
01/05/13	0,3353	0,0095	35,40

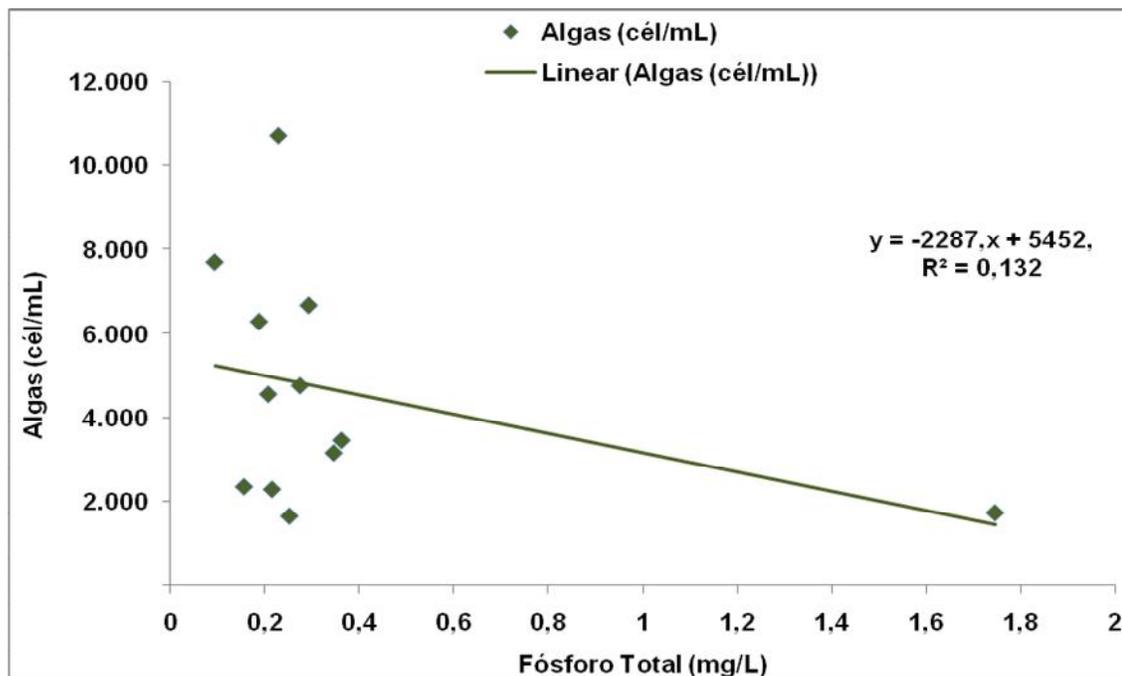
Ao calcular-se a correlação entre o fósforo total (ANEXO III) e a composição quantitativa dos fitoplânctons, encontrou-se baixa correlação para a Classe das cianobactérias, com $R^2 = 0,001$ (FIGURA 29), e uma correlação negativa, com $R^2 = 0,132$ (FIGURA 30), para o grupo das outras algas (verdes).

Figura 29 - Correlação entre algas e fósforo total período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



Fonte:Autor.

Figura 30 - Correlação entre algas e fósforo total período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

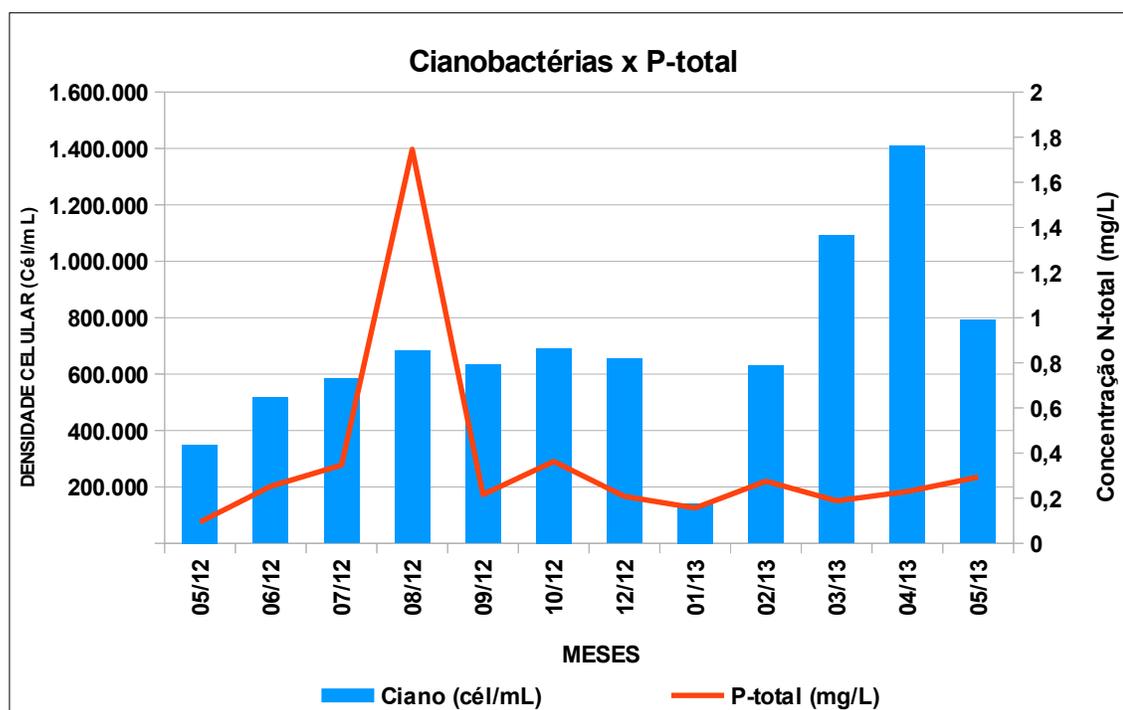
Possivelmente, o fósforo total não apresenta relação direta com a densidade celular dos organismos fitoplanctônicos devido suas altas concentrações durante o período de amostragem, sendo mais do que suficiente para as demandas dessas populações. Para se ter uma idéia, a menor média mensal de PT no açude foi em maio de 2012, sendo praticamente o dobro (0,094 mg/L) do permitido para ambientes lênticos de classe 3 (0,05 mg/L), segundo a Portaria N° 357 do CONAMA. A média de concentração de PT do açude no período de estudo foi 7,4 vezes superior o máximo permitido para águas de classe 3, chegando à concentração de 1,75 mg/L no mês de agosto de 2012.

No mês de agosto de 2012, devido à alta concentração de fósforo, observou-se uma grande redução da relação N:P (1,26:1). Observou-se também neste mês que as cianobactérias aumentaram em concentração celular (Figura 31-, em relação ao mês anterior, já as algas tiveram uma densidade celular reduzida Figura 32).

Ao se avaliar o quadro geral de influência de N e P totais na composição quantitativa da comunidade fitoplanctônica do reservatório, observa-se que devido

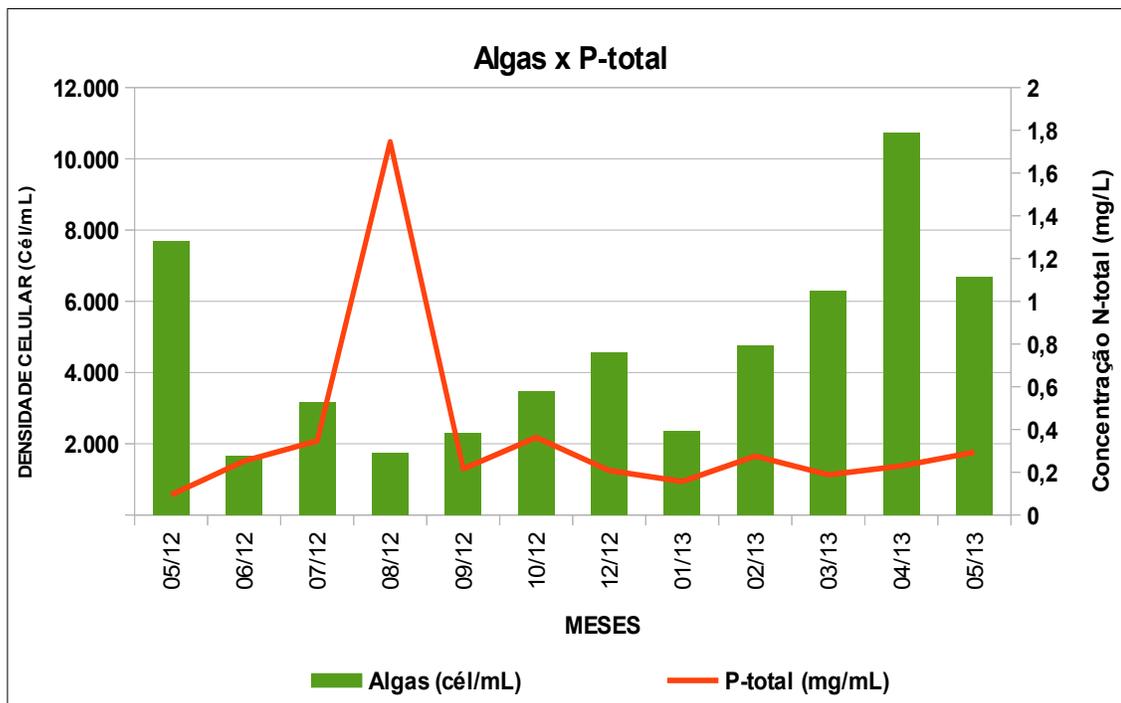
as altas concentrações desses macronutrientes, talvez outro fator esteja limitando o crescimento das cianobactéria, por exemplo, os micronutrientes. Vários trabalhos têm indicado que as comunidades fitoplanctônicas podem ser limitadas por baixa disponibilidade de micronutrientes, dentre eles temos boro, cobalto, ferro, manganês, molibdênio e zinco (Goldman, 1964, 1972; Axler *et al.*, 1980; Wurtsbaugh and Horne, 1983; Twiss *et al.*, 2000).

Figura 31 - Relação entre cianobactéria e fósforo total período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

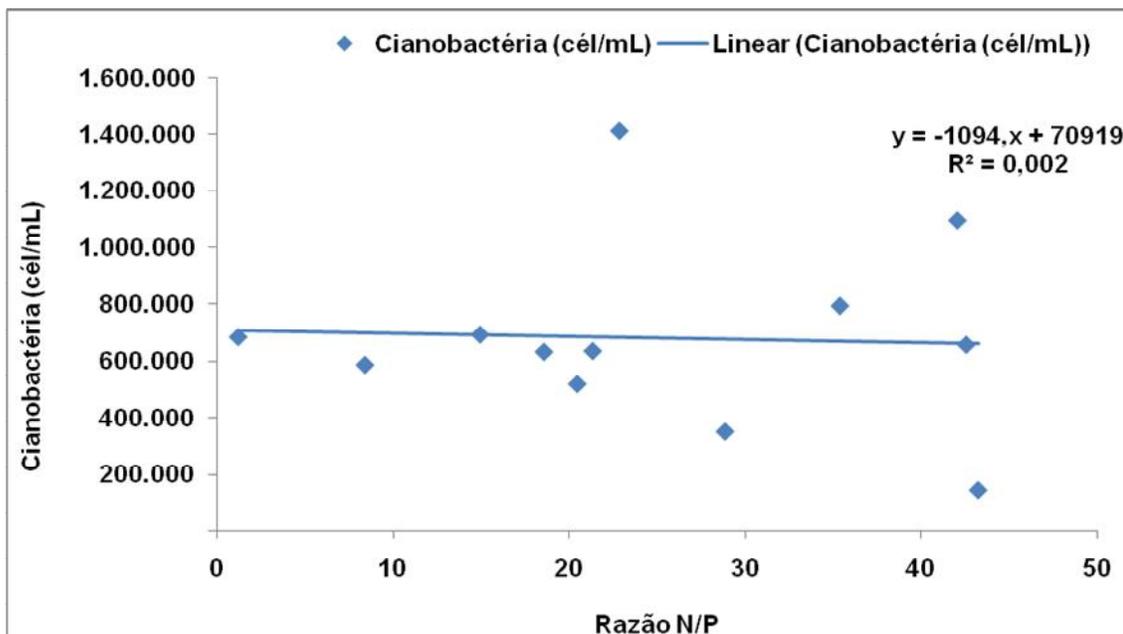
Figura 32 - Relação entre algas e fósforo total período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

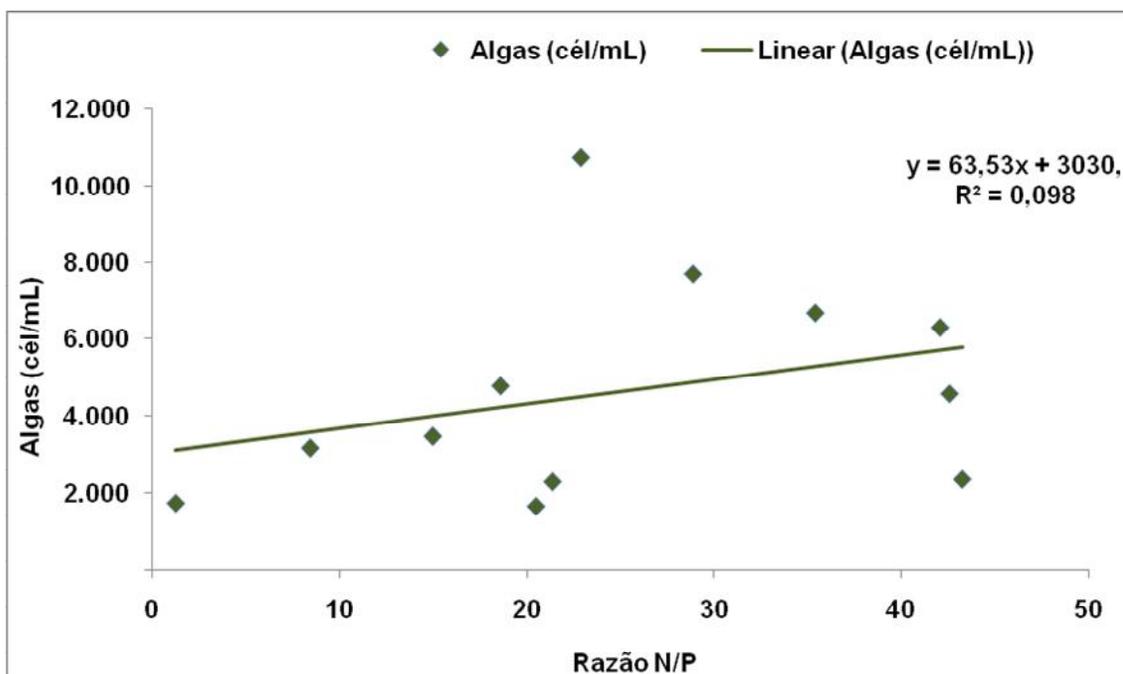
Ao correlacionarmos a razão N/P com a densidade celular dos organismos fitoplanctônicos, verifica-se que ocorreu uma correlação negativa para as cianobactérias, com $R^2= 0002$ (FIGURA 33) e uma fraca correlação, com $R^2= 0,098$ (FIGURA 34), para o grupo das outras algas (verdes).

Figura 33 - Correlação entre a razão N/P e as cianobactérias no período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

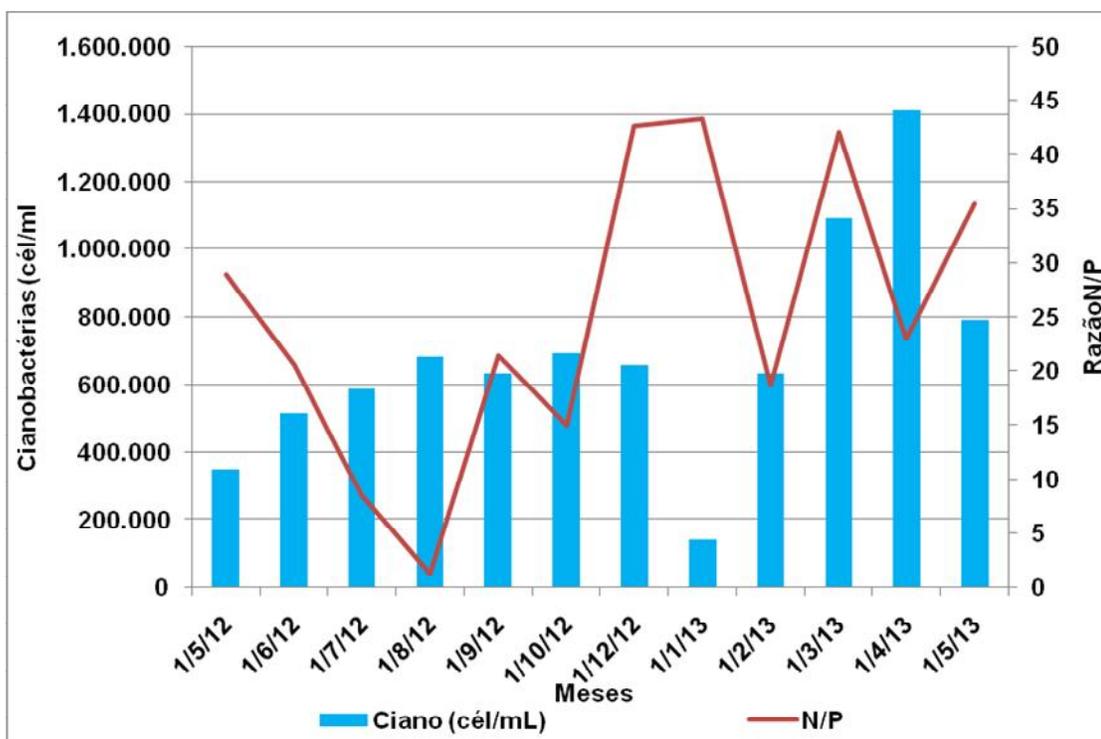
Figura 34 - Correlação entre a razão N/P e as algas total no período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

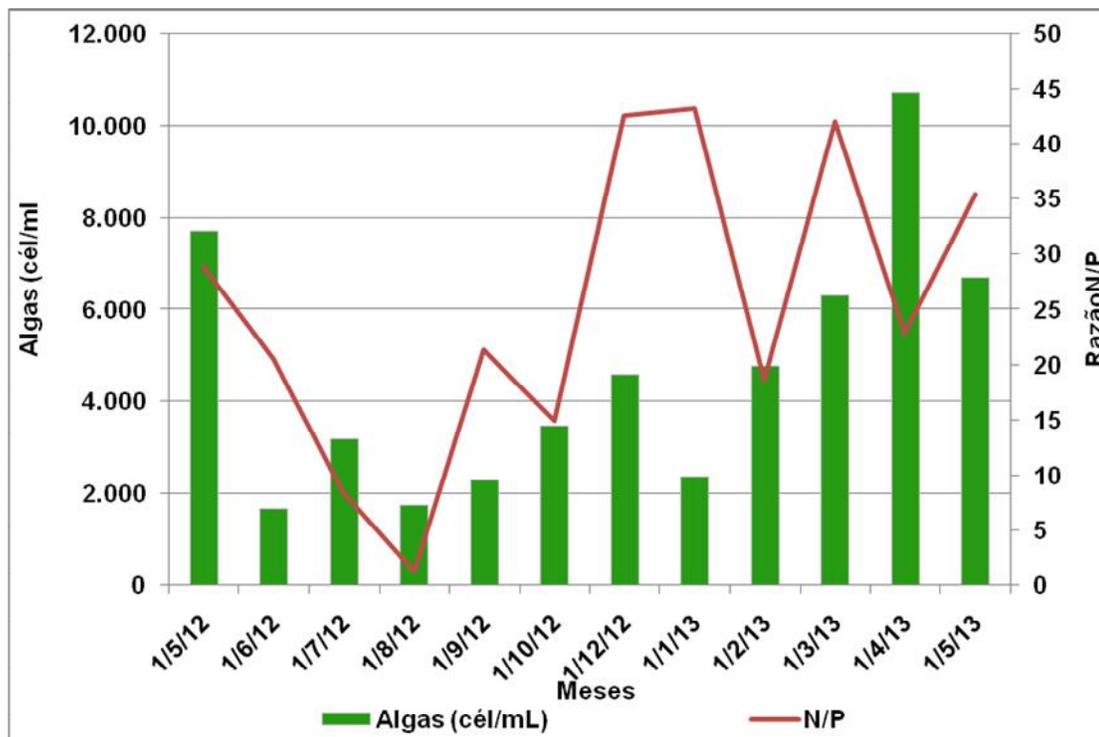
Conforme as figuras 35 e 36, quando da menor razão N/P, ocorrida no mês de agosto de 2012, onde teoricamente o nitrogênio é o nutriente limitante, verificou-se um aumento nas cianobactérias e uma diminuição das algas. Já no mês de maior razão N/P, verificada no mês de janeiro de 2013, onde teoricamente o fósforo é o nutriente limitante, ocorreu uma diminuição das algas e das cianobactérias, sendo mais significativa nesta última classe.

Figura 35 - Relação entre as cianobactérias e a razão N/P no período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



Fonte: Autor.

Figura 36 - Relação entre as algas e a razão N/P no período de maio/12 a maio/2013 no açude Acarape do Meio.



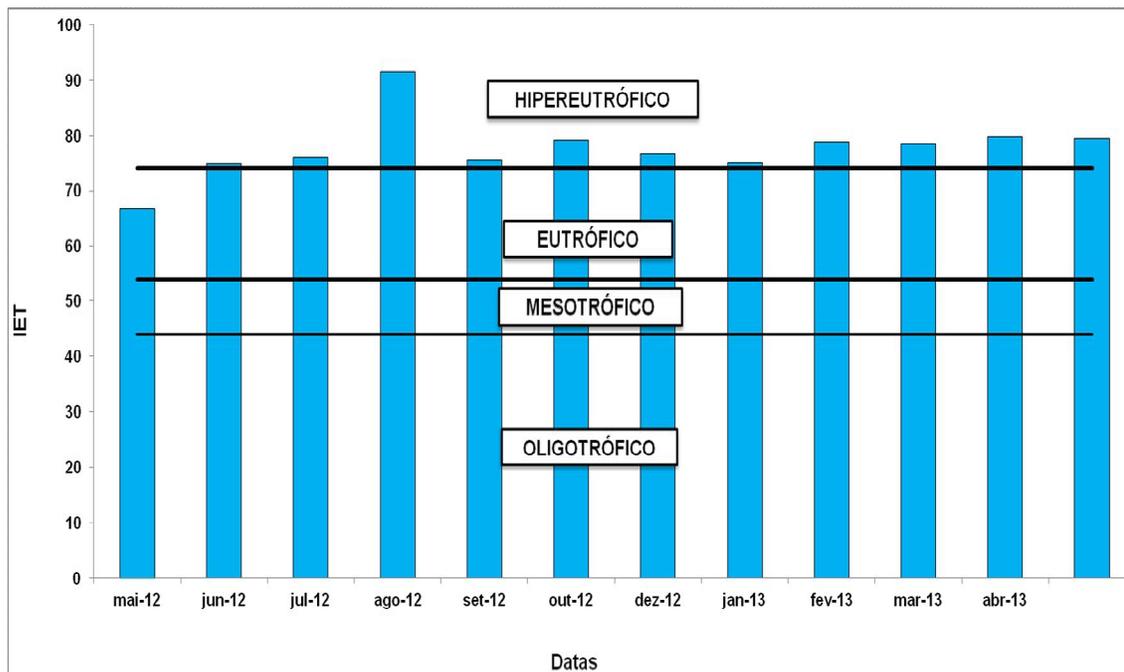
Fonte: Autor.

4.4 Índice de Estado trófico

Quando analisados os dados de fósforo total e clorofila *a*, utilizando-se das equações propostas tanto por Carlson (1977) modificado por Toledo *et. al.* (1984) (Figura 37) como por Lamparelli (2004) (Figura 38), observou-se que durante quase todo o período de amostragem, 91,67%, os dois métodos revelaram que o reservatório ficou classificado como hipereutrófico. A exceção ocorreu no mês de maio de 2012, onde o IET de Carlson indicou o reservatório como eutrófico, enquanto pelo IET de lamparelli o manancial mostrou-se hipereutrófico.

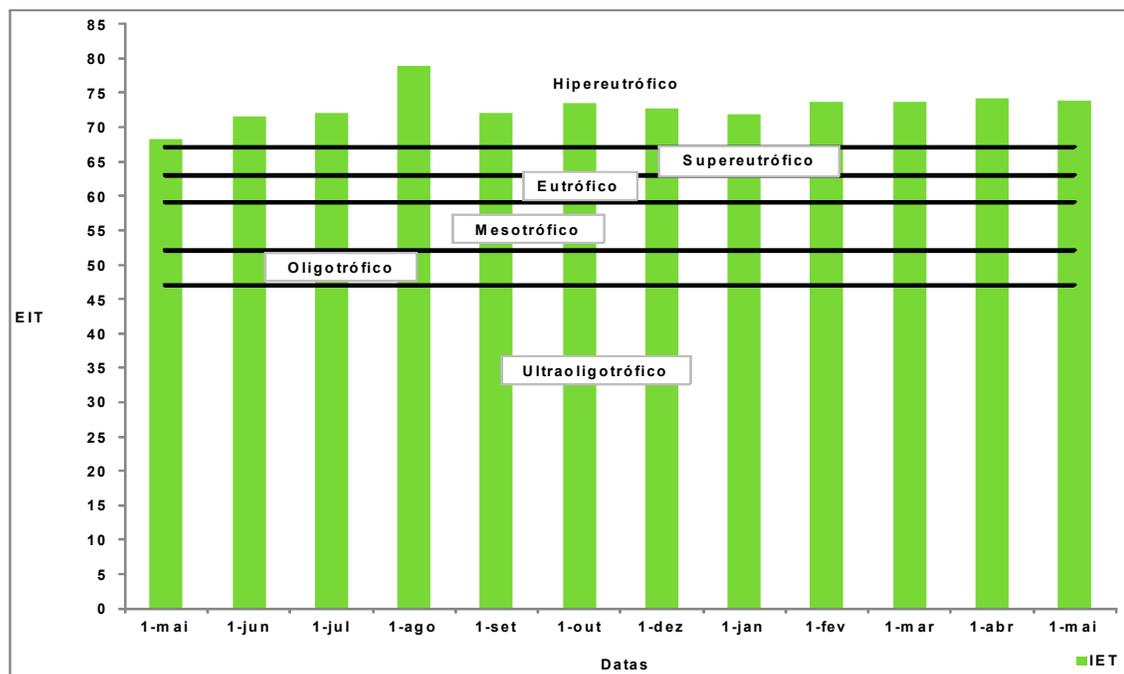
Pacheco (2009), em seu trabalho no mesmo açude em estudo, também relata que todos os pontos apresentaram-se como hipereutrófico ao utilizar o método de lamparelli, enquanto o Toledo *et. al.* (1984), mostraram-se como eutrófico. Temos a observar que diferente deste trabalho, Pacheco (2009), ao empregar a metodologia de Carlson modificado por Toledo, não utilizou a classes hipereutrófica. Mas em termos de número absoluto os resultados foram praticamente o mesmo.

Figura 37- Índice de estado trófico do reservatório Acarape do Meio, no período de maio/12 a maio/13, segundo Carlson (1977) modificado por Toledo *et. al.* (1984).



Fonte: Autor.

Figura 38 - Índice de estado trófico do reservatório Acarape do Meio, no período de maio/12 a maio/13, segundo Lamparelli (2004).



Fonte: Autor.

A COGERH através de sua Gerência de Desenvolvimento Operacional - GEDOP utiliza-se de uma metodologia própria para determinar o estado trófico de um corpo hídrico, onde leva em consideração os seguintes aspectos: o índice de estado trófico de Carlson, adaptado por Toledo; nutriente limitante; contagem de cianobactérias; intensidade de plantas aquáticas presentes no espelho d'água; volume armazenado no açude e observações das gerências regionais (Paulino *et al*, 2013).

Com base nesta metodologia e dos dados do ponto ACA-09, a COGERH por meio da GEDOP, calcula o estado trófico do açude Acarape do Meio. Para o período desta pesquisa, maio/2012 a maio/2013, o EIT calculado pela COGERH (2013 e dados não publicados) variou entre as categorias eutrófica (maio/2012 a março/2013) e hipereutrófica (abril/2013 e maio/2013) (Anexo 4).

4.5 Cianobactérias e a legislação Brasileira

Neste trabalho não se tem a pretensão de enquadramento do açude Acarape do Meio, conforme as classes de água doce definidas pela resolução CONAMA 375/2005 (BRASIL, 2005), nem realizar uma avaliação hidrobiológica, mas sim, verificar o comportamento da densidade celular da comunidade fitoplanctônica, com ênfase nas cianobactérias em relação à citada resolução, bem como, com a Portaria/MS/2011 n° 2.914 (BRASIL, 2011).

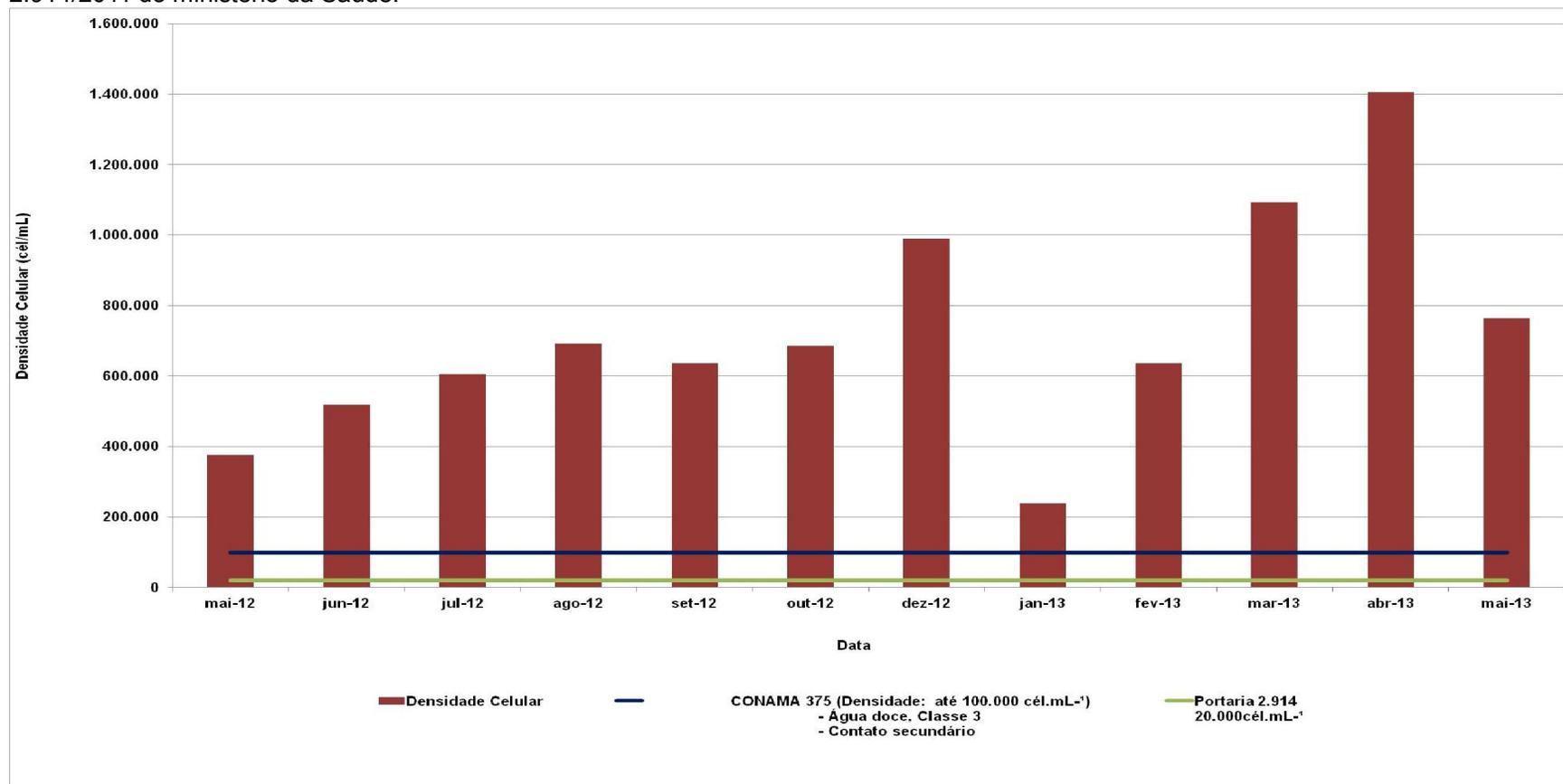
O gráfico da figura 38 mostra a relação entre a distribuição da densidade celular das cianobactérias do açude Acarape do Meio durante o período de amostragem e os principais diplomas legais que tratam das cianobactérias em corpos de água na legislação brasileira.

Em relação à Portaria 2914/MS/2011 (BRASIL, 2011), a densidade celular do açude Acarape do Meio excedeu em todos os meses o limite de células, 20.000 cél.mL⁻¹, estabelecido pelo Artigo 40, Parágrafo 4° desta portaria. Pegando-se como parâmetro o valor de 20.000 cél.mL⁻¹, podemos observar que o mês janeiro de 2013 (de menor densidade) superou o citado parâmetro em 11,93 vezes, enquanto o mês de abril (maior densidade) foi de 70,28 vezes. Para tal situação a supracitada portaria, estabelece que se deva realizar análise de cianotoxinas na água do manancial, no ponto de captação, com frequência semanal.

Ainda com base no gráfico da figura 29, podemos verificar que a densidade celular das Cianobactérias foi superior em todo o período desta pesquisa ao limite máximo estabelecido de 100.000 cél.mL⁻¹, pela Resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), para a classe 3 de água doce e de balneabilidade de contato secundário, chegando a ultrapassar o citado parâmetro no mês janeiro de 2013 (de menor densidade) em 2,38 vezes, enquanto no mês de abril (maior densidade) foi de 14,05 vezes.

A Resolução 274/2000 do CONAMA (BRASIL, 2000) que trata da balneabilidade, não quantifica a densidade celular para a prática da balneabilidade em um corpo hídrico, mas ela especifica que, caso ocorra à presença de floração de algas ou outros organismos à massa de água, fica imprópria para a balneabilidade, até que se comprove que a presença destes organismos não ofereça riscos à saúde humana

Figura 39 – Relação entre a densidade celular mensal apresentada pelas cianobactérias durante o período de maio/2012 a maio/2013 no açude Acarape do Meio e os limites máximos de densidade celular contidas na classe 3, da Resolução CONAMA 375/2005 e a Portaria 2.914/2011 do ministério da Saúde.



Fonte: Autor.

5 Conclusões

Com base nos resultados obtidos no período de pesquisa pode-se afirmar que a comunidade de Fitoplâncton do Açude Acarpe do Meio esteve representada por 49 táxons divididos em sete classes: Cianobacteria; Chlorophyceae; Euglenophyceae Bacillariophyceae; Zignemaphyceae; Cryptophyceae e Dinophyceae; Euglenophyta, Dinophyta, Bacillariophyta e Chlorophyta. Em termos qualitativos a cianobactérias corresponderam a 40% dos organismos, enquanto os restantes das outras classes representaram 60%. Mas em termo quantitativo ocorreu o domínio quase que total da classe das cianobactérias, chegando a atingir a 99,66% da densidade celular do reservatório

A espécie dominante entre os 49 táxons identificados, a única com 100% de frequência foi a Cyanobacteria *Cylindrospermopsis Raciborskii*, tendo uma média celular mensal de 65,53%, chegando a atingir no mês de abril de 2013 uma densidade média de 1.121.328 cél.mL⁻¹. Este organismo é tido como potencialmente tóxico, ou seja, pode produzir cianotoxina. Esta espécie formou florações com outras 02 cianobactérias que podem produzir cianotoxina, que foram: a espécie *Planctotrix Agardhi* e o gênero *Oscillatoria sp.*

Ao associarmos a densidade apresentada pela classe das Cianobactérias e a presença dentre elas de possíveis produtoras de cianotóxina, como as espécies *Cylindrospermopsis Raciborskii* e *Planctotrix Agardhi* e o gênero *Oscillatoria sp* acende uma luz para o abastecimento. Visando à proteção da saúde humana, há a necessidade de um monitoramento constante no que diz respeito ao comportamento das cianobactérias, bem como, a detecção de cianotoxinas na água bruta.

As precipitações contribuíram para o crescimento dos fitoplânctons, pois as maiores densidades destes organismos foram verificadas quando da ocorrência das chuvas.

Os nutrientes nitrogênio e fósforo total estiveram constantemente elevados, não se mostrando um fator limitante para o crescimento das cianobactérias e, provavelmente, por isto não foi correlacionado com a densidade dos fitoplânctons.

Através do cálculo do ITE, utilizando os métodos de Carlson, modificados por Toledo e Lamparelli, o açude encontra-se Hipereutrófico. Tal condição foi propiciada pela grande quantidade de fósforo e nitrogênio, detectada nesta pesquisa, carregados

para a bacia hidráulica do reservatório, o que resultou em intensas florações de fitoplânctos, sendo a classe dominante em termos quantitativos, as cianobactérias. Esta condição do estado trófico indica uma deterioração da qualidade da água do açude Acarape do meio.

Com base neste estudo e com os realizados por Sousa (2007), Lima (2007), COGERH (2008), Pacheco (2009), França (2009), Cunha Neto (2009) e Araújo (2013), que versam sobre o estado trófico do açude Acarape do Meio, bem como, os dados constantes no banco de dados da COGERH, indicam que o manancial vem se mostrando eutrofizado, oscilando entre as classes eutrófica e hipereutrófica, mesmo em anos que ocorreu vertência (sangria). Tal fato está relacionado, com os vários usos múltiplos na sua bacia hidrográfica, usos estes, que estão sendo feitos de forma inadequada, tendo como consequência o carreamento de nutriente para a sua bacia hidráulica, fazendo com que este reservatório fique constantemente eutrofizado, tendo como uma das consequências constantes, florações de cianobactérias, por vezes, com a presença de organismos desta classe potencialmente produtora de cianotoxina, altamente prejudicial à saúde humana.

Conforme a maioria dos autores citados acima, as principais atividades que contribuem para a eutrofização do açude Acarape do Meio são: ocupação desordenada para práticas agropecuárias e a ausência de esgotamento sanitário ou tratamento ineficiente dos existentes.

6 RECOMENDAÇÕES

Há a necessidade urgente de se fazer um levantamento minucioso das fontes pontuais e difusas das atividades que mais contribuem para a eutrofização deste reservatório e calcular a carga de nutriente que cada uma contribui e com posse destes dados fazer campanha de esclarecimentos por parte dos órgãos, sejam federais, estaduais e municipais, que lidem com o meio ambiente e a água (Gestão, abastecimento e Comitê de Bacia) para mostrar a população que vive em seu entorno, sobre o que está acarretando a má utilização e ocupação do solo, bem como, analisar quais os locais que necessitam de esgotamento sanitário e se os existentes estão lançando os efluentes nos cursos de água dentro da legislação pertinente.

Com essas ações, ou seja, conscientização da população, que as formas de uso e ocupação das áreas de entorno desse reservatório podem interferir diretamente na qualidade do mesmo e a implantação de novo sistema de esgotamento sanitário, aliado ao tratamento adequado dos efluentes dos esgotos existentes, haja uma diminuição desta carga de nutriente causada por esta pressão antrópicas, e como consequência ocorra à diminuição do grau de trofia, deixando assim, o estado da água deste importante manancial nos padrões de usos estabelecidos pela legislação vigente em nosso país.

Caso a água deste reservatório permaneça com esta densidade de cianobactérias e com a presença de organismos que podem produzir cianotoxina, é de grande importância para a saúde pública que a empresa distribuidora de água tratada para as diversas localidades atendidas por este manancial, faça um estudo para a implantação de sistema de tratamento que filtre cianotoxina, já que esta não é filtrada por sistemas convencionais.

Que se faça pesquisa sobre a concentração de micronutrientes na massa de água do reservatório, bem como, de sua carga na bacia hidrográfica, através de análises de solo. Caso haja concentrações que estejam interferindo na qualidade da água, que se estude uma maneira de redução destes elementos.

7 BIBLIOGRAFIA

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Subsidio para a legislação nacional de água para consumo Humano**. Ano 1. nº 1. São Paulo. 2010.

ARAGÃO, N.K.C.V. **Taxonomia, distribuição e quantificação de populações de cianobactérias em reservatórios do Estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. 157 f. Recife. 2011.

ARAÚJO, J. A. F. *et al.* Risco de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas com uso da teoria dos conjuntos difusos. **REGA– Vol. 10, no. 1**, p. 29-39, jan./jun. 2013.

ARCHIMORPH. Disponível em: <<http://archimorph.com/2010/06/11/Merismopedia/>>. Acesso em: 14 de Nov. de 2013.

AZEVEDO, S. M. F. O. Toxinas de Cianobactérias: causas e conseqüências para a saúde pública. **Medicina Online**, v.1, n. 3, Jul/Ago/Set, 1998. Disponível em:<<http://www.medonline.com.br>>. Acesso em: 20 de ago. 2014.

AXLER, R. P., GERSBERG, R.M. AND GOLDMAN, C. R. Stimulation of nitrate uptake and photosynthesis by molybdenum in Castle Lake, California. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 37: 707–712, 1980

BARBOSA, B. C. A; RODRIGUES, K. A. P.; SILVA, G. M. **Identificação de cianobactérias no rio Cocó – Fortaleza (CE) no trecho próximo ao lixão do Jangurussu**. In: V CONEPPI - Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas-TO. 2012.

BARBOSA, T. S. **Cianobactérias tóxicas e processos de remoção**. Monografia (Especialização em Microbiologia Ambiental e Industrial) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte- MG, 2009.

BARROS, M. U. G. **Prospecção de *Cylindropermopsis raciborskii* em reservatórios no Ceará e efeitos da depleção de nutrientes na sua concentração celular**. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil - Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BASSOLI, F. **Produção fitoplanctônica em ecossistemas límnicos brasileiros: síntese e cenário atual**. 2006. 117 p. Dissertação (mestrado em Biologia/Ecologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2006.

BERG, C. H. Indicadores de Balneabilidade: A situação brasileira e as recomendações da World Health Organization. **Internacional Journal of Knowledge Engineering e Management. Florianópolis**, v. 2, n. 3, p. 83-101, jul./out. 2013.

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do**

Brasil (chave para identificação e descrições) – Segunda edição. São Carlos: RiMa, 2006. 502p.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C.; YUNES, J.S. Cianobactérias tóxicas. **Biотecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. nº 23. P. 44-47. 2001.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C; MOLICA, R. Cianobactéria invasora - aspectos moleculares e toxicológicos de *Cylindropermopsis raciborskii* no Brasil. **Revista Biотecnologia Ciência e Desenvolvimento**. Edição nº 30, P 82-90. janeiro/junho, 2003.

BRANDÃO, L. H.; D., PATRÍCIA. Fatores ambientais para a floração de Cianobactérias tóxicas. **Saúde e Ambiente em Revista**, Duque de Caxias- RJ, v .1, n.2, p.40-50, jul-dez 2006.

BOUVY, M.; MOLICA, R.; OLIVEIRA, S.; MARINHO, M. e BEKER, B. Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindropermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semiarid region of northeast Brazil. **Aquatic Microbial Ecology**, 285-297. 1999.

BOUVY, M.; FALCÃO, D.; MARINHO, M.; PAGANO M. e MOURA, A. Occurrence of *Cylindropermopsis* (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. **Aquatic Microbial Ecology**, 13-27. 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília, 56p, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357. 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, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 053, de 18 março 2005, págs. 58-63.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 274. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Publicada no DOU nº 18, de 25 de janeiro de 2001, Seção 1, páginas 70-71.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, 14 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/legislaçoes/gm/110982-2914.html>>. Acesso em: 10 set. 2013.

CEBALLOS, B. S. O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. 192p. Tese (Doutorado do Instituto de Ciências Biomédicas) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 1995.

CARLOS, V. M. A importância e problemática das cianobactérias nos reservatórios eutrofizados. **Revista Saneas**. Ano XII - Nº 40. P. 14-18. Janeiro / Fevereiro / Março de 2011.

CARLOTO, I.K.L.; GOMES, R.B.; DIAS, A.F. Avaliação da comunidade fitoplanctônica do ecossistema lacustre urbano lagoa Itaperaoba com ênfase em cianobactérias, Fortaleza-CE. *In: IX Congresso de Ecologia do Brasil*, 13 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço–MG. Anais do IX. Congresso de Ecologia do 2009

CARLOTO, I. K. L. **Identificação de cianobactérias produtoras de saxitoxinas em reservatório de usos múltiplos no semiárido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 22: 361-80, 1977.

CARMICHAEL, W.W. Cyanobacteria secondary metabolites – The Cyanotoxins. **Journal of Applied Bacteriology**, 72: 445-459, 1992.

CARMICHAEL, W. W; AND I. R. FALCONER. Disease related to freshwater blue-green algal toxins, and control measures. In *Algal toxins in seafood and drinking water*, ed. by I. R. Falconer, 187-209. San Diego, CA: Academic Press. 1993

CARNEIRO, T. G.; LEITE, F. Cianobactérias e suas toxinas. **Revista Analytica**. nº 32. P 36-41. 2008.

CARNEIRO, F. M. **Análise do estudo de impacto ambiental e da qualidade da água – O Caso Açude Atalho – Brejo Santo, Ceará**. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e meio ambiente) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-Ce. 2012.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano Estadual dos Recursos Hídrico. Fortaleza-CE. 1992.

CEARÁ. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em Mapas. Unidades Fitoecológicas. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/125x.htm>>. Acesso: 25 nov. de 2013.

CEARÁ. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal: Baturité. Fortaleza, 2012a. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Baturite.pdf> Acesso: 25 de nov. 2013.

CEARÁ. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal: Guaramiranga. Fortaleza, 2012b. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/PBM_2007/Guaramiranga.pdf>. Acesso: 25 de nov. 2013.

CEARÁ. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal: Pacoti. Fortaleza, 2012c. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Pacoti.pdf>. Acesso: 25 de novembro.

CEARÁ. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil

Básico Municipal: Palmácia. Fortaleza, 2012d. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/PBM_2007/Palmácia.pdf>. Acesso: 25 de nov. 2013.

CEARÁ. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal: Redenção. Fortaleza, 2012e. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Redencao.pdf>. Acesso: 25 de nov. 2013.

CEARÁ. IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal: Mulungu. Fortaleza, 2012f. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Mulunguo.pdf>. Acesso: 25 de nov. 2013.

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Secretaria de Estado do Meio Ambiente (São Paulo). **NORMA TÉCNICA L5.303**. Fitoplâncton de Água Doce. Métodos Qualitativo e Quantitativo. 23p. Dez/2005.

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo -Secretaria de Estado do Meio Ambiente (São Paulo). **Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais / CETESB**. São Paulo: CETESB, 2013a. 47 p.

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo -Secretaria de Estado do Meio Ambiente (São Paulo). **Índice de Estado Trófico**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas>>. Acesso em: 30 de set. 2013b.

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - Secretaria de Estado do Meio Ambiente (São Paulo). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/praiaspraias/18-balneabilidade>>. Acesso em: 20 de ago. 2013.

CFB - The Center for Freshwater Biology is based at the University of New Hampshire. Disponível em: <http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano_filaments/cyano_unbranched_fil/untapered_filaments/no_heterocysts/no_vis_sheath/PSEUDANABAENA/Pseudanabaena_Image_page.htm>. Acesso em; 12 de Nov. de 2013.

CGEE – **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**. Disponível: http://www.cgEE.org.br/eventos/Agua_Nordeste/contextualizacao.htm. Acesso em: 14 de set. 2011.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M.G.L.; CAMPOS, J. N. B. **A Questão da Água no Semiárido Brasileiro**. Capítulo 5. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-811.pdf>>. Acesso em: 14 de julho de 2013.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. **New York and London.: E&FN Spon**. 1999.

CONFALONIERI, U.; HELLER, L.; AZEVEDO, S. Água e Saúde: Aspectos Globais e Nacionais. Capítulo 2, p 27-38. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-808.pdf>>. Acesso em: 20 de agos. de 2013.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hidricos do Ceará. **Inventário Ambiental (Relatório - Fatores Condicionantes da Qualidade das Águas) do açude Acarape do Meio, Redenção-Ce.** Fortaleza-Ce. 2008.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hidricos do Ceará. **Inventário Ambiental (Relatório – Fatores condicionantes da qualidade das águas) do açude Colinas, Quiterianópolis-Ce.** Fortaleza-Ce. 2010.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hidricos do Ceará. **Portal Hidrológico do Ceará.** Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/reservatorios/qualidade/eutrofizacao>. Acesso em: 10 de set. de 2013.

COSTA. I. A. S. **Ecologia Dinâmica da Comunidade Fitoplanctônica da Barragem Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, Assu/RN**, 158p. Dissertação de Mestrado (Bioecologia Aquática) -Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

COSTA, I. A. S.; AZEVEDO, S. M. F. O.; SENNA, P. A. C.; BERNARDO, R. R.; COSTA, S. M.; CHELLAPPA, N. T. Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a brazilian semiarid reservoir. **Brazilian Journal Biology**. v. 66, n. 1B, p. 211-219, 2006.

CYBIS, L. F. *et al.* Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba de Sabão e lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: **ABES**, 2006. 64p.

CUNHA NETO, A. A. *et al.* **Estado trófico do açude Acarape do Meio – Ceará – Brasil.** 32 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Fortaleza-CE, 2009. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T1213-1.pdf>>. Acesso em: 20 de Nov. de 2013.

Deberdt, G. L. B.; Cantusio Neto, R.; Agujaro, L. F. Florações de cianobactérias e sua inserção na legislação brasileira. **Editora MS/CGDI/SA/SE**. Brasília. 2004. Disponível em: < http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fdtr2001.saude.gov.br%2Feditora%2Fprodutos%2Fimpressos%2Fcartaz%2F04_0510_C.pdf&ei=tU0kU_LnJKTN0AH7-YCIBg&usq=AFQjCNHmsRI09y5R6BdVhEmE4OTQ-GfbTA&bvm=bv.62922401,d.dmQ&cad=rja > Acesso em: 19 de ago. 2014.

Departamento Nacional de Obras Contra a Seca – DNOCS. Disponível em; <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/acarape_do_meio.htm>. Acesso em: 10 de ago. de 2013.

DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O.; BARBOSA, J.E.L.; KONIG, A. Ciclo nictemeral e vertical de variáveis ambientais no Açude Epitácio Pessoa, semi-árido paraibano. Pp. 1-18. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville-SC, 3003.

EQAT – External Quality Assessment Trials Phytoplakton. Disponível em: <[http://www.planktonforum.eu/index.php?id=33eno_cache=1eL=1etx_pydb_pi1\[start\]=220etx_pydb_pi1\[details\]=3211etx_pydb_pi1\[cur\]=16](http://www.planktonforum.eu/index.php?id=33eno_cache=1eL=1etx_pydb_pi1[start]=220etx_pydb_pi1[details]=3211etx_pydb_pi1[cur]=16)>. Acesso em: 14 de novembro de 2013.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia Rio de Janeiro**. 2ª Ed. – Rio de Janeiro: Interciência. 620p. 1998.

FERNANDES, A. J. S. **Indicadores de stress oxidativo em estirpes de cianobactérias e microalgas**. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais). P 62. Lisboa, 2009

FERNANDES, L. F. *et al.* **Capítulo 11, cianobactéria e Cianotoxina**. Disponível em<[http://www.sanepar.com.br/sanepar/gecip/forum.nsf/205dceedb88c9ab703256c2c005e0402/ba89b4392e096d7903256ebd0067cf02/\\$FILE/cap%2010%20cianotoxina.s.doc](http://www.sanepar.com.br/sanepar/gecip/forum.nsf/205dceedb88c9ab703256c2c005e0402/ba89b4392e096d7903256ebd0067cf02/$FILE/cap%2010%20cianotoxina.s.doc)>. Acesado em: 20 de ago. de 2013.

FERRAZ, H. D. A. A. **Associação da ocorrência de cianobactérias às variações de parâmetros de qualidade da água em quatro bacias hidrograficas de minas gerais**. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, 81 p. Belo Horizonte, 2012.

FERREIRA, A. C. S. **Leitura de Minuto – Cianobactéria**. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/acesso-rapido/leituras-de-minuto>>. Acesso em: 27 de ago. de 2013.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. de *et al.* Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Eng. sanit. ambient.** Vol.12 - Nº 4. P399-409. out/dez 2007.

FIGUEREDO, C. C. **Dominância da cianobactéria *Cylindropermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya et Subba Raju na lagoa central de Lagoa Santa (MG)**. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FRACALOSI JÚNIOR, M. **Aspectos da hidrogeologia num enclave úmido do Semi-Árido Nordeste: Serra de Baturité-Ceará- Brasil**. Disponível em: <aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/24022/16060>, Acesso em: 30 de Nov. 2013.

FRANÇA, J. M. B. de. **Análise ambiental das alterações antrópicas do açude Acarape do Meio, Redenção-Ce, com Base nos Índices de Qualidade da Água de Estado Trófico**. Fortaleza-Ceará, 2009.

FREITAS, T. C. *et al.* Análise qualitativa e toxicológica de uma floração de cianobactérias na lagoa do Gambá em Ouro Preto, MG, e uma Síntese da Ocorrência de Florações de Cianobactérias no Brasil. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 17, n.3, 17-28. Jul/Set 2012.

Fundação Cearense de Meteorologia - FUNCEME. Disponível em: www.funceme.br/index.php/areas/meio-ambiente/solos/99. Acesso: 25 nov. de 2013.

Fundação Cearense de Meteorologia – Funceme. Avaliação da estação chuvosa de 2013. Disponível em: http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/funceme-em-foco/doc_download/78-avaliacao-da-quadra-chuvosa-2013. Acesso em: 01 de 11 de 2013b.

FURTADO, A. L. F. F. **Isolamento, morfologia, análises moleculares e testes toxicológicos de cianobactérias em lagoa facultativa de sistema de estabilização**. Tese (Doutorado Concentração em Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde. Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano. 56 pg. Brasília. 2003.

GALLI, C. S.; ABE, D. S. **Disponibilidade, Poluição e Eutrofização das Águas**. Capítulo 10. P 165-174. Disponível em; <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-816.pdf>>. Acesso em: 01 dezembro de 2013.

CALIJURI, M.C.; ALVES, M.S.A.; SANTOS, A.C.A. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais**. CNPq, 2006

Goldman, C. R., 1964. Primary productivity and micronutrient limitation in some North American and New Zealand lakes. **Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie** 15: 365–374.

Goldman, C. R., 1972. The role of minor nutrients in limiting the productivity of aquatic ecosystems. In: G. E. Likens (ed.), Proceedings of the symposium on nutrients and eutrophication: the limiting-nutrient controversy, American Society of Limnology and Oceanography, pp. 21–23.

GreenWater Laboratories. Disponível em: <http://greenwaterlab.com/photo_algal_2.htm>. Acesso: 14 novembro de 2013

IWATA, B. F.; CÂMARA, F. M. M. **Caracterização ecológica da comunidade fitoplanctônico do rio poti na cidade de Teresina no ano de 2006**. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa -PB - 2007.

JARDIM, F. A.; Sandra, M. F. O. Cianobactérias em águas para Abastecimento Público e o Cumprimento da Legislação Brasileira. **Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia** - nº 35 (3). 2006.

LAGOS, N. *et al.* 1999. The first evidence of paralytic shellfish toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindropemopsis raciborskii* isolated from Brazil. **Toxicon** 37, 1359-1373.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento** – São Paulo – Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Instituto de Biociências – USP. 238p. 2004.

LIMA, M. A. S. **Águas acumuladas em açudes e barragens na região de Santa**

Maria e flutuações em seus atributos físico químicos. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). 2005.

LIMA, F. F. **Estado trófico do açude Acarape do Meio Prognóstico usando modelagem Matemática.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-Ce. 2007.

LIMA, W. S. e Garcia, C. A. B. Qualidade da Água em Ribeirópolis-SE: O Açude do Cajueiro e a Barragem do João Ferreira. **Scientia Plena**. Vol. 4, Num. 2008.

MERILUOTO, J.; CODD, G. A. 2005. Toxic Cyanobacterial monitoring and cyanotoxin analysis. **Åbo Akademi University Press**. 149p.

MENDES, C. F. **Avaliação da qualidade da água e análise de microcistina em pescadote tanques-redes em reservatórios de abastecimento público.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2013.

MENEZES *et al.* Composição florística de cianobactérias e microalgas do canal do piraquê, Lagoa Rodrigo de Freitas, Sudeste do Brasil. **Oecol. Aust.**, 421-440, 2012.

MicrobeWiki. Disponível em: <<http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Merismopedia>>. Acesso em: 30 de Nov. de 2013.

Mikrosvije. Disponível em: <<http://mikrosvijet.wordpress.com/2010/06/28/pionirizivota/>>. Acesso em: 14 de set. de 2013.

MOLICA, R.; AZEVEDO, S. Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. **Oecol. Bras.** v. 13. n° 2. p 229-246, 2009.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <<http://www.glerl.noaa.gov/seagrant/GLWL/Algae/Cyanophyta/Cards/Merismopedia.htm>>. Acesso em: out. de 2013.

Nordicmicroalgae. Disponível em: <<http://nordicmicroalgae.org/taxon/Planktothrix%20agardhii>>. Acesso em: 13 de dez. de 2013.

NOYMA, N. P. **Avaliação da ultraestrutura e morte celular em *Cylindrospermopsis raciborskii*(Woloszynska) Seenayya e Subba Raju (Cianobacteria) sob efeito da radiação ultravioleta.** Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

OLIVEIRA, H. S. B. **Efeitos alelopáticos de microcistinas sobre o crescimento de duas linhagens de microalgas verdes (Chloococcales, Chlorophyta) em condições controladas.** Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

PACHECO, C.H. A. **Dinâmica espacial e temporal de variáveis limnológicas e sua influência sobre as cianobactérias em um reservatório eutrofizado: açude Acarape do Meio-Ce.** Mestrado (Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2009.

PADISÁK, J. *Cylindropermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding highly adaptive blue-green algal species, worldwide distribution and review of its ecology. **Arch. Hydrobiol.** 107 (Suppl.), p.563–593, 1997. Disponível em: <<http://real.mtak.hu/3229/1/1014071.pdf>>. Acesso em: Out. de 2013.

PALMER, C.M. 1969. Report on the algae in relation to water quality of Paranoa Lake, Brasília: Relatório de Consultoria. **Pan American Health Organization/WHO**, Brasília.

PAULINO, W. D *et al.* Eutrofização dos corpos hídricos. 2007. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/aceso-rapido/leituras-de-minuto>. Acesso em: 15 de set 2013.

PAULINO, W. D.; TEIXEIRA, F. J. C. **A questão da água no nordeste / centro de gestão e estudos estratégicos, agência nacional de águas**. P 219-246. Brasília, DF: CGEE, 2012.

PAULINO, W. D *et al.* Metodologia para definição da eutrofização. **Portal Hidrológico do Ceará**. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/boletim-de-qualidade-eutrofizacao>>. Acesso em: 08 de set.de 2013.

PEREIRA, B. G. **Comunidade fitoplanctônica da lagoa Mãe-bá e Barragem Norte (ES): variação espacial, temporal e Grupos funcionais**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes - RJ. Agosto de 2012.

PINHEIRO, M.I.T., CAMPOS, J.N.B. e STUDART, T.M.C. **Conflitos pelo uso da água no estado do ceará: um estudo de caso**. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PIVATO, B. M.; T. S. e RODRIGUES, L. C. Dinâmica nictemeral das assembléias fitoplanctônicas em um reservatório tropical (reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil) em dois períodos do ciclo hidrológico. **Acta Sci. Biol. Sci. Maringá**, v. 28, n. 1, p. 19-29, Jan./March, 2006.

RANGEL, A. J. *et al.* Microalgas perifíticas em reservatório cearense: avaliação da qualidade da água. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Volume 13 - Número 1 - 1º Semestre 2013 Pag 106 a 115.

RIBEIRO, M. C, M. Nova portaria de potabilidade de água: busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no brasil. **Revista DAE n°189**. P 09-14. 2012

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.

REBOUÇAS, A. C. A Inserção da Água Subterrânea no Sistema Nacional de Gerenciamento. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 39-50.

RESTANI, G. C. **Efeitos de cepas tóxicas e não tóxicas de *Cylindropermopsis raciborskii* sobre aspectos do ciclo de vida de *Daphnia laevis* (Cladocera, Daphniidae)**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá- MG. Abril de 2011.

RIVERA, E. A. C. **Modelo sistêmico para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de água**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas-SP, 2003.

SAKER, M.L.; GRIFFITHS, D.J. 2000. The effect of temperature on growth and cylindrospermopsin content of seven isolates of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyceae) from water bodies in northern Australia. **Phycologia**, 39: 349-354. 2000.

SAKER, M. L.; NEILAN, B. A. **Varied Diazotrophies, Morphologies, and Toxicities of Genetically Similar Isolates of *Cylindropermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyceae) from Northern Australia**. 2001. Disponível em: <<http://aem.asm.org/content/67/4/1839.full#sec-10>>. Acesso em: 12 de set. de 2013.

SAKER, MARTIN L., NOGUEIRA, I. C. G.; VASCONCELOS, V. M. Distribution and toxicity of *Cylindropermopsis raciborskii* (cyanobacteria) in portuguese freshwaters. **Asociación Española de Limnología**, p129-136 Madrid. Spain. 2003.

SALAS, H.J.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warmwater tropical lakes. **Wat. Res.** Vol.25, n °3. P 341-350. 1991.

SANT'ANNA, C. L. *et al.* Atlas de cianobactérias e microalgas de águas continentais brasileiras. São Paulo. **Instituto de Botânica**. 2012.

SANTOS, D. C.; SANTOS DIAS, C. T.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. **Saxitoxinas potencializam o efeito alelopático de *Cylindrospermopsis raciborskii*?** XIV Congresso Brasileiro de Ficologia. João Pessoa -PA. 2012. <http://www.sbfic.org.br/cbfic2012/ocs-2.3.4/index.php/xivcbfic/congresso/paper/view/227>.

SARAIVA, A. S. Produção primária de biomassa no estuário do Tejo. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2001.

SAWYER, C.N., MCCARTY, P.L., PARKIN, G.F. Chemistry for environmental engineering. 4th edition. McGraw-Hill. 1994.

SILVA, D. Revisão do gênero *Planktothrix* Anagnostidis & Komárek, 1988 (Cyanobacteria/Ocillatoriales), no Brasil. Tese (Doutorado) - Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente São Paulo, 2009. 238 p.

SILVA, A. M. G. **Relações entre paisagens ambientais (mata atlântica e pastagens) e a biogeoquímica de C, N e P em águas superficiais na bacia do rio Imbé, RJ**. Dissertação apresentada ao Programa de Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ. 2012.

SILVA, C. L. Cianobactéria: Bactéria que Parece Alga. Disponível em: <<http://acquatricos.blogspot.com.br/2010/05/cianobacteria-bacteria-que-parece-alga.html>>. Acesso em : 21de nov. de 2013.

SHAFIK, H. M., VÖRÖS, L., SPRÖBER, P., PRÉSING, M., KOVÁCS, A. W., 2003, "Some special morphological features of *Cylindropermopsis raciborskii* in batch and continuous cultures". *Hydrobiologia*, v. 506-509, n. 1, pp. 163-167.

SMITH, V. H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science* 221:669-671. 1983.

SOARES, R. M. Toxicologia de cianotoxinas: microcistinas as estrelas do tema. **Oecol. Bras.**, Vol 13, nº2, p 259-271. 2009.

SOUZA, M. J. N *et al.* Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. Fortaleza. **Rev. de Geologia**, n 1 .1988.

SOUZA, M.J. N; Oliveira, V. P. V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 05, número 09, 2006.

SOUSA, I. V. A., Souza, R. O.; Paulino, W. D. Cálculo do índice de qualidade de água em reservatórios tropicais com estudo de caso no Acarape do Meio. *In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico*. São Paulo. 2007. Disponível em: http://artigocientifico.uol.com.br/uploads/artc_1201152388_83.pdf. Acesso em: set. de 2013.

STEIL, L. **Avaliação da atividade microbiana anaeróbia metanogênica na lagoa de estabilização anaeróbia da estação de tratamento de esgotos sanitários do município de Cajati**, Vale do Ribeira de Iguape, Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

TEIXEIRA, F. J. C. **Modelos de gerenciamento de recursos hídricos: análise propostas de aperfeiçoamento do sistema no Ceará**. Ministério da Integração Nacional – Série Águas do Brasil. Banco Mundial e Ministério da Integração. Brasília, 2004.

TORQUATO, K. C. **Ocorrência de cianobactérias em reservatórios de bacias hidrográficas do estado da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande- PB, 2012. 62 p.

TRINDADE, P. B. C. B. **Classificação de estado trófico de reservatórios – estudo de caso: reservatório de rio bonito (ES)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

Twiss, M. R., J.-C. Auclair and M. N. Charlton, 2000. An investigation into iron-stimulated phytoplankton productivity in epipelagic Lake Erie during thermal stratification using trace metal clean techniques. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 57: 86–95

TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. L. *Cylindropermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya e Subba Raju(Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, SP, Brasil. **Rev. bras. Bot.** 2003, vol.26, n.1, pp. 97-112.

TUNDISI, J.G. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. 1ª Ed. São Carlos: RiMa, IIE, 248p, 2005.

Universidade de Coimbra. Algario online. Disponível em: <<http://www1.ci.uc.pt/pessoal/nunogdias/algario/oscillatoria.htm>>. Acesso em: 12 de dez. de 2013.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Cyanobacteria and Cyanotoxins:Information for Drinking Water Systems. Office of Water. July, 2012.

VIANA, E. S. **Dimensionamento de açude e sistema de bombeamento de um poço artesiano para irrigação**. Monografia (Bacharel em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Goiás. Anápolis–Go, 2012.

VIDAL, T. F. B. M. **Nutrientes no açude gavião/CE – Uma nova abordagem**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza de. 2011.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA-UFMG.1996. Disponível em: <www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/190M.PDF>. Acesso em: 26 de out. de 2013.

VON SPERLING, E. Uso de relações limnológicas para avaliação da qualidade da água em mananciais de abastecimento. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa/PB, 2001.

WERNER, V.R. **Cyanophyceae/cyanobacteria no sistema de lagoas e lagoas da planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. 363f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, São Paulo, 2002.

WIKIPEDIA. Disponível em: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Oscillatoria>>. Acesso em: 14 de out. de 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Water-related diseases: cyanobacterial toxins. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/cyanobacteria/en/. Acesso em 10 out. de 2013.

WOJCIECHOWSKI, J. **Efeitos da temperatura, fósforo e luz no crescimento da cianobactéria *Cylindropermopsis raciborskii*(Woloszynska) Seenayya et Subba Raju do reservatório de Alagados, Paraná**. Dissertação (Pós-Graduação em Botânica) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2013.

Wurtsbaugh,W.A. and A. J.Horne, 1983. Iron ineutrophic Clear Lake, California: its importance for algal nitrogen fixation and growth. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences** 40: 1419–1429.

Zagatto, P.A. Toxinas de algas: riscos à saúde pública. **Revista Gerenciamento Ambiental**. 3(17): 4p. 2001.

ANEXO I

- Densidade celular média apresentada pelos táxons de Cianobactérias no açude Acarape do Meio, Redenção – CE, durante o período de estudo.
- Percentual (%) de representatividade dos táxons de Cianobactérias identificados no açude Acarape do Meio, Redenção – CE, durante o período de estudo

Densidade celular média apresentada pelos dos táxons de Cianobactérias no açude Acarape do Meio, Redenção – CE, durante o período de estudo. As últimas duas colunas destacam as densidades celulares mínima e máxima. O sinal "-" indica a ausência de táxon.

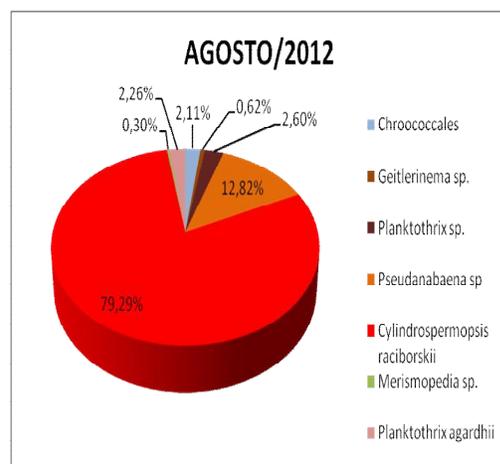
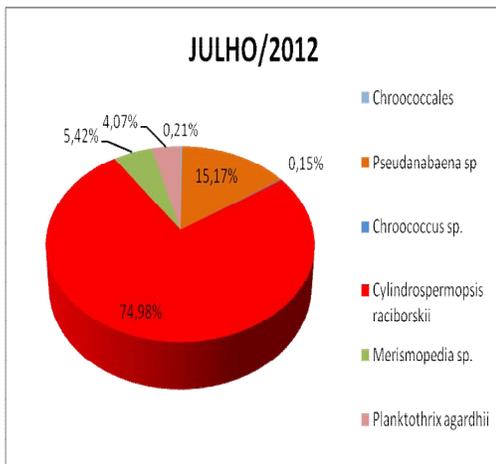
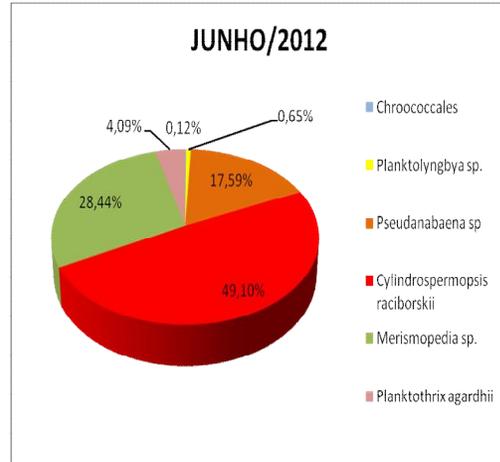
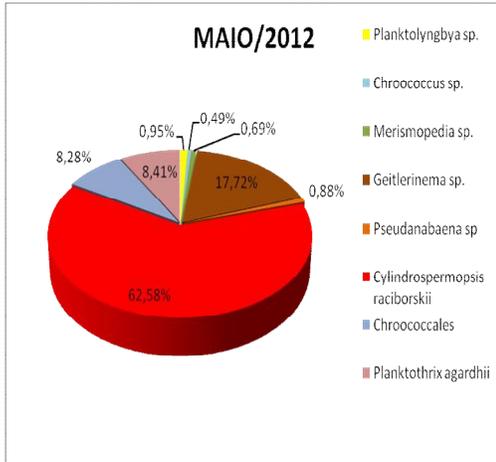
TÁXONS	PERÍODO DE AMOSTRAGEM												Mínimo	Máximo
	2012							2013						
CYANOBACTERIA	05/12	06/12	07/12	08/12	09/12	10/12	12/12	01/13	02/13	03/13	04/13	05/13		
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	0,33	0,33
<i>Aphanocapsa sp.</i>	-	-	-	-	-	1.403	-	-	-	-	-	-	1.403	1.403
<i>Chroococcales</i>	3.553	644	1.245	14.955	1.768	0	14.734	-	-	-	-	-	644	14.955
<i>Chroococcus dispersus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.661	-	1.661	1.661
<i>Chroococcus sp.</i>	3.297	-	934	-	-	-	-	519	259	571	-	-	259	3.297
<i>Cuspidothrix sp.</i>	-	-	-	-	-	877	-	-	-	-	-	-	877	877
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	235.064	254.654	453.552	562.726	381.888	408.114	541.713	41.020	568.318	966.417	1.121.329	551.151	41.020	1.121.329
<i>Cylindrospermopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	117.598					117.598	117.598
<i>Geitlerinema sp.</i>	1.858	-	-	4.385		1.754	-	-	-	-	-	-	1.754	4.385
<i>Lyngbya limnetica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.780	11.780	11.780
<i>Merismopedia sp.</i>	31.104	147.491	32.802	2.122	21.169	39.463	19.991	-	-	-	-	-	2.122	147.491
<i>Merismopedia tenuissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	4.013	13.336	7.714	23.455	-	4.013	23.455
<i>Oscillatoria sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	7.524	35.658	26.983	35.839	7.524	35.839
<i>Planktolyngbya sp.</i>	2.598	3.396	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.598	3.396
<i>Planktothrix agardhii</i>	31.602	21.216	24.612	16.068	-	13.776	-	-	-	-	-	-	13.776	31.602
<i>Planktothrix sp.</i>	-	-	-	18.447	-	-	-	-	-	-	-	-	18.447	18.447
<i>Pseudanabaena catenata</i>	-	-	-	-	-	-	-	60.843	46.287	82.662	232.264	177.156	46.287	232.264
<i>Pseudanabaena moniliformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	14.711					14.711	14.711
<i>Pseudanabaena sp</i>	66.543	91.239	91.751	91.018	229.510	220.917	413.560	-	-	-	-	-	66.543	413.560
<i>Synechocystis sp.</i>	-	-	-	-	1.414	-	-	-	-	-	-	-	1.414	1.414
Densidade Celular Média - Total	375.619	518.639	604.895	691.273	635.749	686.304	989.997	238.704	635.724	1.093.022	1.405.692	764.146	238.704	1.405.692

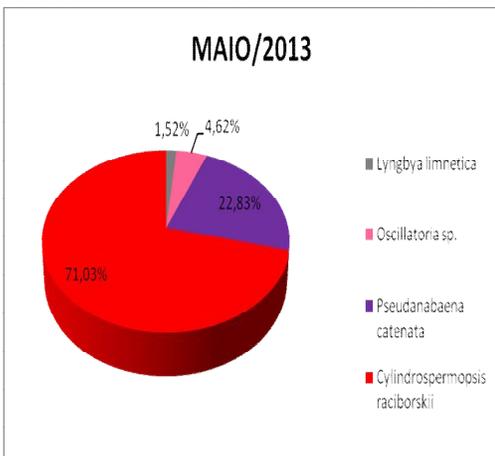
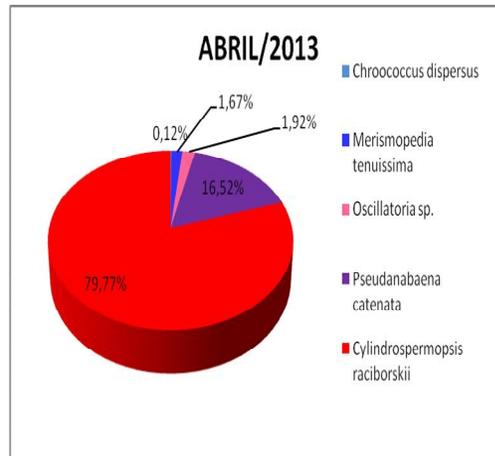
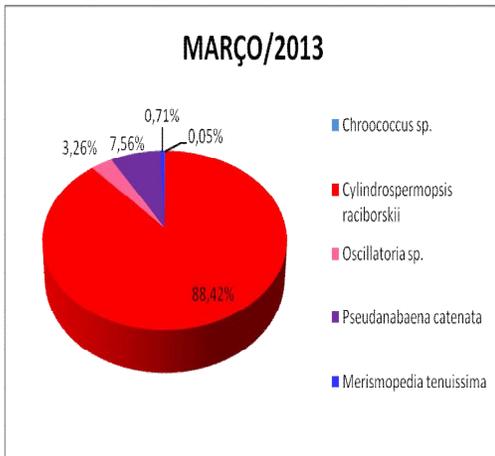
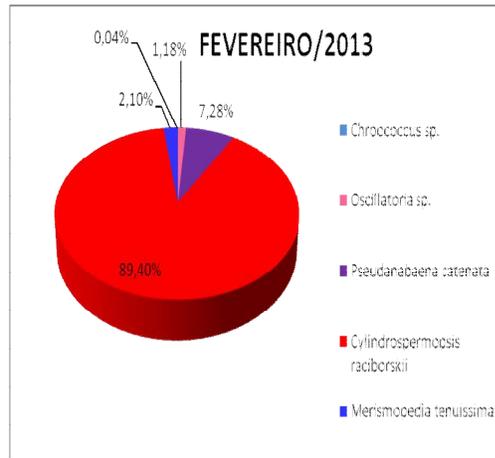
Percentual (%) de representatividade dos táxons de Cianobactérias identificados no açude Acarape do Meio, Redenção – CE, durante o período de estudo. O sinal "-" indica a ausência de táxon.

TÁXONS	PERÍODO DE AMOSTRAGEM												Mínimo	Máximo
	2012						2013							
CYANOBACTERIA	05/12	06/12	07/12	08/12	09/12	10/12	12/12	01/13	02/13	03/13	04/13	05/13		
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33%	-	-	0,33%	0,33%
<i>Aphanocapsa sp.</i>	-	-	-	-	-	0,20%	-	-	-	-	-	-	0,20%	0,20%
Chroococcales	0,95%	0,12%	0,21%	2,11%	0,28%	-	1%	-	-	-	-	-	0,12%	2,11%
<i>Chroococcus dispersus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12%	-	0,12%	0,12%
<i>Chroococcus sp.</i>	0,88%	0	0,15%	-	-	-	-	0,22%	0,04%	0,05%	0	-	0,04%	0,88%
<i>Cuspidothrix sp.</i>	-	-	-	-	-	0,13%	-	-	-	-	-	-	0,13%	0,13%
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	62,58%	49,10%	74,98%	79,29%	60,07%	59,47%	55%	17,18%	89,40%	88,42%	79,77%	71,40%	17,18%	89,40%
<i>Cylindrospermopsis sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	49,27%	-	-	-	-	49,27%	49,27%
<i>Geitlerinema sp.</i>	0,49%	-	-	0,62%	-	0,26%	-	-	-	-	-	-	0,26%	0,62%
<i>Lyngbya limnetica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00%	1,00%	1,00%
<i>Merismopedia sp.</i>	8,28%	28,44%	5,42%	0,30%	3,33%	5,75%	2%	-	-	-	-	-	0,30%	28,44%
<i>Merismopedia tenuissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	1,68%	2,10%	0,71%	1,67%	-	0,71%	2,10%
<i>Oscillatoria sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	0	1,18%	3,26%	1,92%	4,62%	1,18%	4,62%
<i>Planktolyngbya sp.</i>	0,69%	0,65%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65%	0,69%
<i>Planktothrix agardhii</i>	8,41%	4,09%	4,07%	2,26%	-	2,01%	-	-	-	-	-	-	2,01%	8,41%
<i>Planktothrix sp.</i>	-	-	-	2,60%	-	-	-	-	-	-	-	-	2,60%	2,60%
<i>Pseudanabaena catenata</i>	-	-	-	-	-	-	-	25,49%	7,28%	7,56%	16,52%	22,92%	7,28%	25,49%
<i>Pseudanabaena moniliformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	6,16%	-	-	-	-	6,16%	6,16%
<i>Pseudanabaena sp</i>	17,72%	17,59%	15,17%	12,82%	36,10%	32,19%	42%	-	-	-	-	-	12,82%	41,77%
<i>Synechocystis sp.</i>	-	-	-	-	0,22%	-	-	-	-	-	-	-	0,22%	0,22%

ANEXO II

Gráficos com a distribuição mensal das concentrações das cianobactérias





ANEXO III

Estatística descritiva dos nutrientes (nitrogênio e fósforo total) durante a pesquisa (maio/2012 a maio/2013) no açude Acarape do Meio.

Tabela contendo a estatística descritiva dos nutrientes (nitrogênio e fósforo total) durante a pesquisa (maio/2012 a maio/2013) no açude Acarape do Meio.

MESES	NT (mg/L)			PT (mg/L)			NT (mg/L)				PT (mg/L)			
	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 9	Ponto 2	Ponto 5	Ponto 9	MÉDIA	DP	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DP	MÁXIMO	MÍNIMO
mai-12	1,108	1,154	1,429	0,074	0,116	0,093	1,230	0,174	1,154	1,108	0,094	0,021	0,116	0,074
jun-12	2,232	2,515	2,268	0,286	0,274	0,198	2,338	0,154	2,515	2,232	0,253	0,048	0,286	0,198
jul-12	1,499	1,145	1,324	0,39	0,387	0,263	1,323	0,177	2,268	1,145	0,347	0,072	0,390	0,263
ago-12	1,594	0,658	0,734	0,091	0,085	5,062	0,995	0,520	1,594	0,658	1,746	2,872	5,062	0,085
set-12	2,192	2,044	2,018	0,207	0,195	0,246	2,085	0,094	2,192	2,018	0,216	0,027	0,246	0,195
out-12	2,578	2,694	2,096	0,39	0,346	0,353	2,456	0,317	2,694	2,096	0,363	0,024	0,390	0,346
nov-12	3,053	2,195	2,621	0,331	0,194	0,104	2,623	0,429	3,053	2,195	0,210	0,114	0,331	0,104
dez-12	2	7,645	2,35	0,189	0,233	0,202	3,998	3,163	7,645	2,000	0,208	0,023	0,233	0,189
jan-13	2,708	3,128	3,342	0,256	0,073	0,141	3,059	0,323	3,128	2,708	0,157	0,093	0,256	0,073
fev-13	2,377	2,404	2,159	0,368	0,283	0,175	2,313	0,134	3,342	2,159	0,275	0,097	0,368	0,175
mar-13	3,933	3,782	3,017	0,224	0,221	0,12	3,577	0,491	3,933	3,017	0,188	0,059	0,224	0,120
abr-13	2,724	-	2,02	0,321	-	0,138	2,372	0,498	3,017	2,020	0,230	0,129	0,321	0,138
mai-13	5,214	4,419	4,451	0,302	0,317	0,262	4,695	0,450	5,214	-	0,294	0,028	0,317	0,262
OBS: NT= Nitrogênio Total PT= Fósforo Total DP= Desvio Padrão														

ANEXO V

Estado trófico do açude Acarape do Meio no período de 2008 a agosto de 2013, conforme banco de dados da COGERH

DATA	PONTO	[NT]	[PT]	N:P	clorof. µg/L	cianob. Célula/mL	CLASSE	INFORM. ADICIONAL
14/01/08	ACA-09					166,3	Hipereutrónica	
20/05/08	ACA-09	3,589	0,063	19,72:1	29,9	442.000	Eutrónica	
17/06/08	ACA-09	0,978	0,040	12,15:1	30,8		Eutrónica	
29/07/08	ACA-09	1,389	0,093	12,15:1	17,3		Eutrónica	
04/08/08	ACA-09	1,083	0,097	12,15:1	33,2	146.090	Eutrónica	
23/09/08	ACA-09	1,090	0,324	12,15:1	28,9	125.793	Eutrónica	
14/10/08	ACA-09	1,240	0,062	12,15:1	12,6	236.730	Eutrónica	
11/11/08	ACA-09	1,601	0,137	12,15:1	46,0	388.001	Eutrónica	
09/12/08	ACA-09	0,700	0,113	12,15:1	39,1	37.328	Eutrónica	
17/02/09	ACA-09					64.1.087	Hipereutrónica	Número muito alto de cianobactérias
10/03/09	ACA-09					489.294	Hipereutrónica	Número muito alto de cianobactérias
06/04/09	ACA-09					696.680	Hipereutrónica	Número muito alto de cianobactérias
04/05/09	ACA-09					182.638	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
16/06/09	ACA-09					115.173	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
29/07/09	ACA-09	3,083	0,188	16,94:1	21,9	161.341	Eutrónica	
25/08/09	ACA-09	2,023	0,168	12,15:1	38,9	431.646	Eutrónica	
22/09/09	ACA-09	1,272	0,062	12,15:1	64,4		Eutrónica	
13/10/09	ACA-09	2,207	0,059	12,15:1	80,2	358.775	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
10/11/09	ACA-09	0,433	0,399	12,15:1	58,4	272.809	Hipereutrónica	
08/12/09	ACA-09	0,849	0,060	12,15:1	55,2	346.349	Eutrónica	
16/03/10	ACA-09	0,158	0,063	12,15:1	19,9		Eutrónica	
13/04/10	ACA-09	0,158	0,022	12,15:1	49,0	243.821	Eutrónica	
25/05/10	ACA-09	0,885	0,146	12,15:1	34,7	189.826	Eutrónica	
07/06/10	ACA-09	1,433	0,013	12,15:1	45,8		Hipereutrónica	
27/07/10	ACA-09	2,185	0,028	12,15:1	65,6	152.371	Eutrónica	
03/08/10	ACA-09	2,956	0,013	16,24:1	70,4	347.263	Eutrónica	
15/09/10	ACA-09	2,240	0,013	12,31:1	63,2		Eutrónica	
19/10/10	ACA-09	2,624	0,066	14,42:1	30,3		Eutrónica	
17/11/10	ACA-09	0,383	0,063	12,15:1	45,5		Eutrónica	
30/11/10	ACA-09	1,078	0,013	12,15:1	56,3		Eutrónica	
21/02/11	ACA-09	1,937	0,067	12,15:1	56,6		Eutrónica	
16/03/11	ACA-09	5,283	0,055	29,03:1	127,4	560.893	Eutrónica	
14/04/11	ACA-09	1,320	0,140	12,15:1	149,5	215.791	Eutrónica	
10/05/11	ACA-09	0,799	0,043	12,15:1	16,6	172.186	Eutrónica	
15/06/11	ACA-02					81.866	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
04/08/11	ACA-09					146.986	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
30/08/11	ACA-09					159.815	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
28/09/11	ACA-09					308.503	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
19/10/11	ACA-09					564.109	Hipereutrónica	Número muito alto de cianobactérias
08/11/11	ACA-09					356.215	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
14/12/11	ACA-09					360.760	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
09/04/12	ACA-09					195.479	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
15/05/12	ACA-09	1,429	0,093	12,15:1	62,3	421.898	Eutrónica	
12/06/12	ACA-09	2,268	0,198	12,46:1	55,5	519.860	Eutrónica	
17/07/12	ACA-09	1,324	0,263	12,15:1	0,2	298.920	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
08/08/12	ACA-09	0,734	5,062	0,97:1	121,7	666.795	Eutrónica	Número alto de cianobactérias
04/09/12	ACA-09	2,018	0,246	12,15:1	117,2	515.266	Eutrónica	
16/10/12	ACA-09	2,096	0,353	12,15:1	114,3	619.378	Eutrónica	
13/11/12	ACA-09						Hipereutrónica	Número muito alto de cianobactérias
13/11/12	ACA-09	2,621	0,104	14,40:1	123,2		Eutrónica	
13/12/12	ACA-09	2,181	0,202	12,15:1		852.444	Eutrónica	
16/01/13	ACA-09	3,342	0,141	18,36:1		157.620	Eutrónica	
20/02/13	ACA-09	2,159	0,175	12,15:1		656.160	Eutrónica	
13/03/13	ACA-09	3,017	0,120	16,58:1		1.563.889	Eutrónica	
10/04/13	ACA-09	2,020	0,138	12,15:1		1.340.448	Hipereutrónica	
15/05/13	ACA-09	4,451	0,262	24,46:1	77,1	386.069	Hipereutrónica	
12/06/13	ACA-09	3,702	0,330	20,34:1	28,6	222.257	Eutrónica	
14/08/13	ACA-09	2,010	0,267	12,15:1	55,3	478.081	Hipereutrónica	

ANEXO V
Resenha Fotográfica do IVA (COGERH, 2010)

RESENHA FOTOGRÁFICA



Descrição:
 F 01 - F03 - Localidade Nova Vida - Residências lançando efluente (esgoto) no entorno da Área de Preservação Permanente - APP.
 F 04 - F 05 - Localidade Planço - Desmatamento da APP para plantação de milho e bananas.
 F 06 - F 07 - Localidade Beirão - Desmatamento da APP para plantação de milho e bananas.
 F 08 - F 09 - Município de Palmácia - Vista da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE.
 F 10 - F 11 - Município de Pacoti - Vista da ETE 01.
 F 12 - F 13 - Município de Pacoti - Vista da ETE 02.

F 14 - Esgoto do município de Pacoti - O efluente captado drena para o riacho à jusante.
 F 15 - Vista do cemitério do Município de Palmácia.
 F 16 - Vista do cemitério do Município de Pacoti.
 F 17 - Matadouro do Município de Palmácia.
 F 18 - Matadouro do Município de Pacoti.
 F 19 - Visualização do lixo do Município de Palmácia.
 F 20 - F 21 - Vista do Açude - Cemitério totalmente eufonizado.
 F 22 - F 23 - Localidade Birinha - Lançamento do efluente no riacho.
 F 24 - Localidade Canadá - Lixo residencial exposto, próximo as margens do açude.
 F 25 - F 28 - Visualização das construções (curral, casas) irregulares, desmatamento e queimadas dentro da APP.

Observações:

Registro Fotográfico da
 Bacia Hidráulica e Hidrográfica
 na viagem de campo do dia
 (12/09/2007)

	GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH	
	INVENTÁRIO AMBIENTAL DOS AÇUDES - IVA	
	Título: Painel Fotográfico dos Pontos de Poluição do Açude Açarape do Meio	Data: Setembro de 2007
Fonte: Dados do Banco da COGERH e Levantamentos de Campo	Nº do desenho: 06	