



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FRANCISCA SOCORRO PEIXOTO

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
COM A QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO AÇUDE ACARAPE DO MEIO**

FORTALEZA

2014

FRANCISCA SOCORRO PEIXOTO

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
COM A QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO AÇUDE ACARAPE DO MEIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros

FORTALEZA-CEARÁ

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

-
- P43a Peixoto, Francisca Socorro.
Análise da relação espaço-temporal do uso e ocupação do solo com a qualidade da água na bacia do Açude Acarape do Meio / Francisca Socorro Peixoto. – 2014.
123f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.
Orientação: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros.
1. Água - Qualidade. 2. Análise multivariada. 3. Solo - Uso. I. Título.

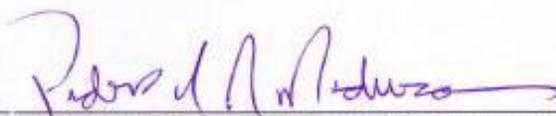
2014

FRANCISCA SOCORRO PEIXOTO

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
COM A QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO AÇUDE ACARAPE DO MEIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas.

Aprovada em: 20/11/2014



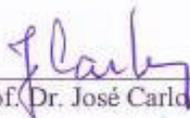
Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros (Orientador)

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE



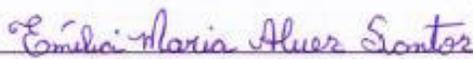
Prof. Dr. George Leite Mamede

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB



Prof. Dr. José Carlos de Araújo

Universidade Federal do Ceará- UFC



Prof. Dr. Emília Maria Alves Santos.

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará IFCE

A Deus.

Aos meus pais Francisco Peixoto e Graça Peixoto

AGRADECIMENTOS

A DEUS por ter me dado força e perseverança em todos os momentos dessa caminhada.

À minha família pelo apoio que sempre a mim foi dado em todos os momentos.

Ao meu orientador Pedro Medeiros, ao qual não tenho palavras para agradecer por tudo que fez para a concretização desse trabalho, em todos os momentos esteve à disposição pra tudo. Muito obrigada.

À Universidade Federal do Ceará – UFC através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade a mim concedida.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia *campus* Maracanaú, pelo espaço cedido para a realização das análises, em nome dos professores Bruno Cesar, Emília Maria, Inês Teixeira e Cynara Reis pelos excelentes momentos compartilhados.

Aos meus colegas e amigos do mestrado Anthony Rafael, Renata Nayara e Éder Ramon, por todos os momentos maravilhosos que estivemos juntos, aprendizado e companheirismo.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial aos professores José Carlos de Araújo e George Leite Mamede pelos ensinamentos compartilhados.

Ao amigo Bertyer Peixoto, que sempre esteve à disposição quando solicitado, muito obrigada.

A todos os amigos do grupo Hidrosed: Christine Farias, Cicero Lima, Mário Wiegand, Marina Porto, Thayslan Carvalho, Neyson Souza, Eveline Menezes, José Welligton.

Aos amigos que me ajudaram na parte de campo: Mário Wiegand, Elinalda Costa, Isaquiel Ramos, Jairo Lima, Marina Porto, David Campelo, Cicero Lima, Débora Barboza.

Aos motoristas Paulo e Luiz pela paciência e compreensão.

A todos que me ajudaram de alguma forma no laboratório, direto ou indiretamente, principalmente aqueles que estiveram mais presente nas análises, Thiago Rocha, Marina Porto, Patrícia Barbosa, Andréia Sales.

Em especial ao Neto, pela disposição e dedicação em todos os momentos que necessitei tanto no campo quanto no laboratório. Muito obrigada.

Ao Pedro Henrique que sempre estava ao meu lado me dando força e me fazendo rir nos momentos difíceis no laboratório.

À Eveline Salgado pela ajuda a mim dada e pelas palavras de incentivo e apoio. Muito obrigada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa indispensável à realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo custeio da Pesquisa.

À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) pela parceria.

A todos os funcionários do DENA, Ana (Aninha), Dona Fátima, Willa, Jacó, Alípio, Maurício.

RESUMO

A contaminação dos corpos d'água pela ação antrópica está se tornando cada vez mais frequente e com essa ação as águas estão cada vez mais vulneráveis a degradação. Levando em consideração esses aspectos, o presente trabalho tem como objetivo analisar a relação espaço-temporal do uso e ocupação do solo com a qualidade da água na bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio, no Estado do Ceará, a partir de monitoramento da qualidade das águas no próprio açude e em oito seções fluviais situadas em sua bacia contribuinte. Para a realização deste trabalho foi avaliada a Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio, a qual tem aproximadamente 215 Km². Foram utilizados oito anos de dados de qualidade de água do reservatório fornecidos pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. Para este processo foi utilizada estatística multivariada através de duas técnicas, análise de componentes principais e análise de agrupamento. Além desses dados foram realizadas análises laboratoriais das oito seções fluviais de monitoramento que alimentam o referido reservatório, no período de março a junho de 2014, e confeccionado um mapa de uso e ocupação do solo através de imagens de satélite do ano de 2004 (Landsat-5) e de 2013 (Landsat-8). Os resultados da qualidade da água do açude se mostraram bastante variáveis e preocupantes. Para a consolidação desses dados foram formadas quatro componentes principais necessárias para explicar 83% da variabilidade total dos dados. As componentes mais significativas na explicabilidade da qualidade da água no reservatório foram: cálcio, potássio, nitrogênio total, clorofila-a. A segunda técnica avaliada mostrou que a qualidade da água foi separada em quatro grupos, sendo que o grupo um ficou representado pelos dados dos anos de 2004, 2005 e 2006, levando a crer que a qualidade da água nesses anos estaria com características semelhantes. O segundo grupo foi formado somente pelos meses de setembro e outubro de 2012, os quais tiveram uma intensificação dos valores das variáveis analisadas, o que pode ser atribuído ao período de estiagem e que também o referido ano não teve uma quadra invernal que pudesse contribuir para o aumento do volume do reservatório e com isso a água ficou mais concentrada e conseqüentemente os valores dos parâmetros analisados tiveram um “salto”. O grupo três foi formado pelos anos de 2006, 2007, 2008 e 2010. O último grupo ficou apenas com outubro de 2004, isolando-se dos demais. As análises realizadas nas oito seções de monitoramento mostram-se também bastante variáveis em todas as campanhas. Dentre os poluentes mais preocupantes estão os relacionados ao fósforo e à matéria orgânica. As seções de monitoramento que receberam maiores concentrações de nutrientes são a seção Pacoti e a Canabrava, localizadas bem próximas a zonas urbanas, a primeira localizada próxima à cidade de Pacoti e a segunda próxima a Palmácia. A seção que recebe maior carga de poluentes de material orgânico é a seção Canadá, obtendo valor máximo de 1154,12 Kg.dia⁻¹. Com relação aos mapas de uso e ocupação do solo, foi possível observar que houve modificações nas seis classes avaliadas, principalmente no tocante a vegetação antropizada e cultivos agrícolas. Na vegetação nativa também se apresentou um decréscimo significativo.

Palavras-chave: Qualidade de água. Estatística multivariada. Uso e ocupação do solo. Poluição dos corpos d'água.

ABSTRACT

The contamination of water bodies by human activities is increasing and with this action the waters are more vulnerable to degradability. Then, the main goal of this work is to analyze the spatial-temporal relationship between land use and water quality in the watershed of the Acarape do Meio Reservoir, located in State of Ceará, Brazil. Water quality was monitored in the Acarape do Meio Reservoir and in eight river sections located at its tributaries. The Acarape do Meio Reservoir has catchment area of about 215 km². Water quality data sampled during eight years and provided by the Water Resources Management Company (COGERH) were used in this work. Multivariate techniques were used: principal component analysis and cluster analysis. Laboratory analyzes were performed in water sampled in eight river sections that contribute to this reservoir from March/2014 to June/2014. A land use map was made from satellite images: Landsat-5 image of 2004 and Landsat-8 image of 2013. The results showed that the water quality of the Acarape do Meio Reservoir is quite variable. To consolidate these data four principal components were formed to explain 83% of the total variability of the data. Calcium, potassium, total nitrogen and chlorophyll-a were the parameters that present highest explicability. The other technic showed that the water quality was separated into four groups, with group one being represented by the years 2004, 2005 and 2006. This shows that the water quality in those years presented similar characteristics, as they are quite distinct from the others. The second group was formed only by the months of September and October 2012, due to an intensification of the values of the variables, which can be attributed to the dry season and also a precipitation below the average in that year insufficient to increasing the storage in the reservoir and thus the water became more concentrated. The third group was formed by the years 2006, 2007, 2008 and 2010. The last group isolated the month of October 2004. The analysis made in the eight monitoring river sections also show quite high variability in all samples. Phosphorus and organic matter are the most worrisome pollutants. The monitoring section that receives the highest concentrations of nutrients is Pacoti and Canabrava. Both are very close to urban areas, the first one is located close to the town of Pacoti and the second is close to Palmácia. The section that receives the largest loads of organic matter is the Canada section, there the maximum value was 1,154.12 kg⁻¹ day. With respect to maps of land use, it was observed that changes occurred in the six evaluated classes, especially with regard to disturbed vegetation and agricultural crops. A significant decrease in the undisturbed vegetation was also observed.

Key words: Water quality. Multivariate statistic. Land use. Water bodies pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Média calculada da clorofila-a em $\mu\text{g/L}$ dos anos de 2001 a 2012 para os nove pontos monitorados no reservatório Acarape do Meio. A linha vermelha corresponde ao limite estabelecido pela Resolução Conama357/2005.	23
Figura 2- Localização das principais Bacias do Ceará.	28
Figura 3- Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio	29
Figura 4- Vegetação da área em estudo, maio 2014.	31
Figura 5- Precipitações totais anuais do posto de Guaramiranga, com destaque para a média anual.	32
Figura 6 - Precipitações mensais na área de estudo no período de janeiro de 2012 a julho de 2014	33
Figura 7- Tipos de solos na Bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio.	35
Figura 8- Mapa de altimetria da bacia do Açude Acarape do Meio.	37
Figura 9- Localização dos pontos de monitoramento no Açude Acarape do Meio (coordenadas em UTM WGS84)	38
Figura 10 - Localização das seções em monitoramento	46
Figura 11– Situação da seção Sítio Jordão em outubro-2013, única seção com água	47
Figura 12 – Processo de coleta nas seções Saco do Vento (esquerda) e Canabrava (direita). Junho de 2014	51
Figura 13 - Seção Calção completamente seca na ocasião da coleta de junho, 2014	52
Figura 14 - Medição de vazão seção Pacoti (abril) e Jordão (maio) [A, B], Medição de vazão seção Canadá (abril e maio) [C, D] e levantamento morfométrico [E, F] das seções	57
Figura 15 - Variação de DQO em quatro Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) da bacia do Açude Acarape do Meio e operadas pela CAGECE	68
Figura 16 - Dendrograma	76
Figura 17 - Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Acarape do Meio de acordo com classificação de imagens satélites. A) Imagem de 20/07/1985 de órbita 217 ponto 63 do Landsat 5; B) Imagem do dia 04/08/2012 de órbita 334 ponto 97 do satélite IRS p6. Classes de uso e ocupação do solo: vegetação antropizada (VA), cultivos	

agrícolas (CAG), corpos d'água (CA), área urbana (AU), vegetação arbustiva (VAR), vegetação nativa (VNA).....	79
Figura 18 - Evolução temporal das classes de uso e ocupação do solo: vegetação antropizada (VA), cultivos agrícolas (CAG), corpos d'água (CA), área urbana (AU).....	80
Figura 19 – Evolução temporal das classes de uso e ocupação do solo: vegetação arbustiva (VAR), vegetação nativa (VNA).....	81
Figura 20 - Concentrações de fósforo total nas seções de monitoramento	87
Figura 21 - Carga de fósforo total nas seções de monitoramento	87
Figura 22 - Concentrações de DBO nas seções de monitoramento.....	90
Figura 23 - Lançamento de resíduos no matadouro de Palmácia, abril, 2014.....	90
Figura 24 - Cargas de DBO nas seções de monitoramento	91
Figura 25 - Concentrações de oxigênio dissolvido nas seções de monitoramento.....	92
Figura 26 - Temperatura da água nas seções de monitoramento.....	94
Figura 27 - Concentração da turbidez nas seções de monitoramento.....	95
Figura 28 - Condutividade elétrica nas seções de monitoramento	96
Figura 29 - Coliformes termotolerantes nas seções de monitoramento.....	98
Figura 30 – Valores de pH nas seções de monitoradas	99
Figura 31- Sólidos Totais nas seções monitoradas.....	100
Figura 32 - Lançamento de poluentes nas proximidades das seções de monitoramento, (Saco do Vento [A] e Canadá [B]).....	101
Figura 33 – Culturas cultivadas nas áreas da bacia do Acarape do Meio em locais impróprios, com desmatamento de morros. Em março de 2014.....	102
Figura 34 – Mapa de classificação da cena de 24/07/2004 de orbita 217 ponto 63 do satélite Landsat 5. Layout esquerdo colorida. Layout direito – classificação ISODATA....	106
Figura 35 – Mapa de classificação da cena de 01/07/2013 de orbita 217 ponto 63 do satélite Landsat 8. Layout esquerdo colorida Layout direito – classificação ISODATA....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Percentual dos diferentes tipos de solos no Brasil e Ceará	34
Tabela 2 - Parâmetros representativos utilizados na análise estatística multivariada	40
Tabela 3 – Intervalos de validades do teste de KMO, para aplicação do modelo de análise de fator.....	45
Tabela 4 – Características morfométricas das bacias incrementais das seções de monitoramento na bacia do Acarape do Meio.....	49
Tabela 5 - Medidas de vazões nas seções monitoradas em 2014	55
Tabela 6 - Variância das componentes principais da área em estudo	59
Tabela 7 - Componentes principais e Comunalidades.....	60
Tabela 8 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas na análise de componentes principais.....	62
Tabela 9 - Estatística descritiva das variáveis representativas na estatística.....	63
Tabela 10 - Simulações do teste de adequacidade para chegar a conclusão da análise	71
Tabela 11 - Esquema de aglomeração da análise hierárquica de agrupamento pelo método Ward ...	73
Tabela 12 - Número de agrupamentos formados.....	75
Tabela 13 - Estatística descritiva das variáveis amostradas mensalmente nas oito seções de monitoramento (março a junho/2014)	83
Tabela 14 - Cargas de nutrientes	86
Tabela 15 - Estimativa das emissões de poluentes pontuais e difusas de acordo com COGERH (2008) na Bacia Hidrográfica do Acarape do Meio.....	89
Tabela 16 - Carga de DBO nas seções de monitoramento	91
Tabela 17 - Áreas (km ²) ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo nas sub-bacias das seções de monitoramento da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio.....	104
Tabela 18 – Percentuais de áreas (%) ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo nas sub-bacias das seções de monitoramento da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio.....	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Aspectos gerais da qualidade da água.....	17
2.2	Caracterização da qualidade de água	20
2.3	Qualidade da água em mananciais no semiárido.....	21
2.4	Estatística Multivariada	24
2.4.1	Análise de Componentes Principais - ACP.....	24
2.4.2	Análise de Agrupamento - AA	25
3	ÁREA DE ESTUDO	27
3.1	Caracterização geral da área de estudo	27
3.2	Clima e Vegetação.....	30
3.3	Solos	33
3.4	Topografia.....	36
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	Monitoramento qualitativo do Açude Acarape do Meio	38
4.2	Análise estatística multivariada	41
4.2.3	Análise de Agrupamento - AA	41
4.2.4	Análise das Componentes Principais (ACP).....	42
4.3	Caracterização e monitoramento das seções fluviais.....	46
4.3.1	Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas incrementais das seções de monitoramento	48
4.3.2	Uso e ocupação do solo.....	50
4.3.3	Procedimentos de amostragem e variáveis analisadas.....	51

4.3.4	Medição de Vazão e Cargas poluentes	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	Evolução temporal da qualidade da água do Açude Acarape do Meio	58
5.1.1	Análise das Componentes Principais	58
5.1.2	Análise de Sensibilidade.....	69
5.1.3	Análise de Agrupamento	73
5.2	Relação entre uso e ocupação do solo e a qualidade da água do Açude Acarape do Meio	77
5.3	Caracterização das Seções de Monitoramento.....	81
5.4	Caracterização do uso e ocupação do solo através de imagens de satélite	100
6	CONCLUSÕES.....	108
	REFERÊNCIAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma situação confortável no que diz respeito à disponibilidade hídrica per capita, avaliando-se a partir de valores totalizados para o país, quando comparada aos valores de outros países, segundo informações fornecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU). Porém, apesar desse aparente conforto, existe uma distribuição irregular desse recurso no território brasileiro, uma vez que cerca de 80% da reserva hídrica está inserida na região amazônica, (ANA, 2012). A água é um recurso determinante para a condição de vida do ser humano, sendo que em algumas regiões, principalmente nas regiões áridas e semiáridas do globo, há forte limitação de sua disponibilidade hídrica em decorrência de condições naturais (MOTA, 1998, *apud* PALÁCIO, 2004).

Com o aumento populacional, o consumo de água tende a crescer, o desenvolvimento industrial e outras atividades humanas também tendem ao crescimento. Cada vez mais se retira água dos mananciais e se produzem resíduos líquidos, os quais voltam para os recursos hídricos, alterando a sua qualidade, (MOTA, 2012).

As águas doces vêm sofrendo grandes mudanças na sua qualidade, tanto no aspecto físico, químico como também no biológico, em todo o mundo, como resultado das alterações antrópicas nas bacias hidrográficas. Na maioria das vezes, isso ocorre a partir do uso e ocupação inadequada do solo, escoamento agrícola e lançamento de efluentes doméstico e industrial sem um tratamento adequado, de acordo com (BARBOSA *et al.*, 2012). Essas alterações afetam diretamente a qualidade das águas prejudicando o seu uso direto e indireto pela sociedade.

Nesse sentido, para que a qualidade das águas seja mantida ou pelo menos conservada em melhores condições, o gerenciamento dos recursos hídricos é de fundamental importância, principalmente nas regiões semiáridas onde se tem um déficit hídrico bem elevado, ou seja, a evaporação maior que as precipitações.

A disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro vem se tornando um fator preocupante para os órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos corpos hídricos, não apenas no que se refere à quantidade, mas também à qualidade da água. A ocupação do solo e o desenvolvimento de atividades produtivas sem os devidos cuidados acarretam perda de sua qualidade, conseqüentemente, demandam maiores investimentos para sua recuperação.

A necessidade de armazenamento de água em reservatórios artificiais tem se intensificado devido ao crescimento populacional desordenado e ao uso e ocupação do solo de forma irregular, de acordo com (Araújo *et al.*, 2013), o que resulta na degradação da sua qualidade e, conseqüentemente, a falta de água dentro dos padrões exigidos pelos órgãos fiscalizadores.

O uso consciente desse recurso é imprescindível para o desenvolvimento de qualquer país. A problemática da escassez e os conflitos de uso da água, frequentes em várias regiões do mundo, reforçam a necessidade de aplicação de instrumentos de gestão para esse recurso finito e que está se tornando mais escasso a cada dia (SABIÁ, 2008).

O crescimento da urbanização sem o devido planejamento social, econômico e ecológico tem ocasionado à degradação das bacias hidrográficas, sendo este um dos grandes desafios para as políticas públicas, que atualmente podem contar com a constante implantação de instrumentos de controle, como o plano de bacia, o enquadramento dos corpos hídricos, a outorga, a cobrança e sistema de informações, previsto na Lei Federal 9.433 de 1997.

Estudos realizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH, 2011) apontam que no Estado do Ceará a situação dos corpos d'água apresenta uma situação preocupante no tocante à qualidade da água. Dos reservatórios monitorados pela companhia, 74% se mostra eutrofizados ou hipereutrofizados, o que pode comprometer o uso desses corpos hídricos em um curto período de tempo. Trabalho desenvolvido por Lima (2007) ratifica a problemática da degradação da qualidade da água do reservatório Acarape do Meio, que se mostrou em estado de hipereutrófico a supereutrófico.

Este reservatório é de grande importância para a região do maciço de Baturité, pois fornece água para diversas atividades agrícolas, seis municípios e também para cerca de sessenta indústrias, com água bruta, na Região Metropolitana de Fortaleza.

Nesse sentido o presente trabalho faz parte de um projeto de pesquisa que tem como título: Enquadramento de corpos d'água no semiárido brasileiro como instrumento de gestão e sustentabilidade ambiental: o caso do Acarape do Meio, Região Metropolitana de Fortaleza. No mesmo projeto de pesquisa foram desenvolvidos mais dois trabalhos além deste. Uma dissertação de mestrado que teve como tema “Utilização de Lógica Fuzzy e Sensoriamento Remoto no Monitoramento do uso do solo: Estudo de caso da Bacia Acarape do Meio” e também uma tese de doutorado com o seguinte tema: Enquadramento de Corpos d'água no Semiárido Brasileiro como Instrumento de Gestão e Sustentabilidade Ambiental: O Caso da Bacia Hidrográfica Acarape do Meio - CE.

1.1 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar a relação espaço-temporal do uso e ocupação do solo com a qualidade da água na bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio, no Estado do Ceará, a partir de monitoramento da qualidade das águas no próprio açude e em oito seções fluviais situadas em sua bacia contribuinte.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Avaliar a evolução temporal da qualidade da água no açude Acarape do Meio de setembro de 2004 a outubro de 2012, a partir de dados disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH.
- Monitorar oito seções fluviais a montante do reservatório Acarape do Meio, no que diz respeito a parâmetros de qualidade de água;
- Realizar levantamento do uso e ocupação do solo na bacia identificando as principais ações que resultem em degradação ambiental do reservatório;
- Produzir informações que contribuam para o enquadramento do açude Acarape do Meio e, portanto, na gestão desse manancial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da qualidade da água

A água é constituída de elementos indispensáveis à sobrevivência de todos os organismos existentes na face da terra. Além disso, é de grande importância para o clima da mesma (Siqueira *et al.*, 2012), e também é vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, que mantêm em equilíbrio os ecossistemas e a sustentabilidade do ciclo de nutrientes no planeta (TUNDISI, 2003). Estima-se que, na América Latina, apenas 2% das águas são tratadas antes de serem servidas à população, (ANA 2002; 2005), ou seja, 98% das águas são utilizadas sem ter um tratamento adequado, o que pode acarretar doenças de veiculação hídrica.

De um modo geral, a degradação da qualidade da água é associada à falta de saneamento básico. Girão (2006), estudando a qualidade da água na sub-bacia do rio Jaibaras, inserido na bacia do rio Acaraú, Estado do Ceará, constatou que os efluentes dos domicílios de Arariús são despejados diretamente no rio Jaibaras, o qual vem sofrendo intervenções não apenas de esgotos domésticos, mas também de disposição de resíduos sólidos, inclusive lixões a céu aberto, e cargas provindas de piscicultura intensiva. Fatos como esse são encontrados em diversos municípios desprovidos de sistema de tratamento de esgoto, onde os efluentes são lançados nos corpos d'água sem tratamento prévio, acarretando assim, a degradação da qualidade das águas dos mananciais.

Processos semelhantes de degradação dos recursos hídricos e contaminação dos solos foram verificados por Ribeiro (2007), avaliando a qualidade da água no reservatório Acarape do Meio, onde foi constatado que o referido açude recebe contribuições das cidades a montante.

Lima (2007), avaliando o estado trófico do reservatório Acarape do Meio, também encontrou resultados negativos no que diz respeito à degradação da qualidade da água. O reservatório tem evoluído negativamente no tocante a eutrofização, com as concentrações de clorofila-a aumentando ao longo do período que foi avaliado. Segundo o

autor, existe possibilidade de reverter esse processo, caso sejam controlados os poluentes que chegam até o reservatório. Resultados semelhantes foram obtidos por Araújo *et al.*, (2013), que identificaram degradação da qualidade da água do mesmo reservatório pelo lançamento de efluentes das cidades a montante do mesmo. Os autores atribuem esse processo negativo ao lançamento de efluentes diretamente no rio, causando um aumento considerável no aporte de nutrientes para o reservatório.

A eutrofização é um processo natural que ocorre nos mananciais, porém devido às ações antrópicas, esse processo sofre alteração, podendo se acentuar em um período e desacelerar em outro, fazendo com que o corpo hídrico se recupere rapidamente, (ARAÚJO *et al.*, 2013). Por exemplo, esse fato ocorreu no reservatório Acarape do Meio, onde Lima, (2007) verificou que no mês de maio de 2006 o risco de eutrofização foi de 90%, em média, em toda a extensão do reservatório.

A degradação da qualidade da água não se restringe somente ao semiárido, os ecossistemas de água doce de um modo geral estão entre os mais degradados do planeta, em termos de perda de qualidade e da diminuição de quantidade de água, (UN WWAP, 2009 *apud* ANA 2010), problema esse que pode se agravar ainda mais nos próximos anos e, conseqüentemente, esses ecossistemas poderão sofrer perdas de espécies e de habitat.

As atividades antropogênicas têm produzido efeitos negativos nos ecossistemas aquáticos, ameaçando o desenvolvimento e dificultando a proteção natural do ambiente. O processo de degradação dos corpos hídricos coloca em risco a manutenção da vida aquática e também compromete o uso desse recurso para o abastecimento humano (ARAÚJO JÚNIOR, 2009).

A falta de saneamento básico contribui diretamente para a contaminação dos corpos hídricos, aumentando o risco de ocorrência de doenças causadas por vetores de transmissão por veiculação hídrica. Um dos problemas mais sérios segundo Tundisi (2003) é a toxicidade dos ambientes aquáticos e das massas de água e também das substâncias orgânicas dissolvidas na água, que causam inúmeros impactos diretos ou indiretos na saúde humana.

Ainda de acordo com o autor supracitado, estatísticas referentes às deficiências sanitárias resultantes de saneamento inexistente ou deficiente no continente africano indicam cerca de 608.000 mortes/ano. No sudeste da Ásia esse valor aumenta, atingindo 699.000 mortes/ano. Esses dados deveriam servir não só para os bancos estatísticos e sim de alerta para os gestores para o investimento na melhoria da qualidade de vida da população com investimentos em saneamento básico.

Nesse sentido, pesquisas relacionadas à saúde relatam que para cada real que o governo investisse em saneamento básico, economizaria quatro reais em saúde, dados esses relatados no 4º Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública, realizado pela Fundação Nacional de Saúde em março de 2013. A revista Exame em reportagem em 22 de março de 2013 traz uma matéria onde informa que a Fundação das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) relata que todos os anos morrem 3,5 milhões de pessoas no mundo por problemas relacionados ao fornecimento inadequado da água, e alerta que a cada 15 segundos uma criança morre de doenças relacionadas à falta de água potável, de saneamento e de condições de higiene no mundo.

A comunidade científica está empenhada no sentido de contribuir para a melhoria da qualidade das águas, nesse sentido, pesquisas estão sendo realizadas para comprovar o preocupante quadro de degradação dos corpos hídricos. Essa degradação está mais evidente nas águas superficiais que as subterrâneas, podendo ser afetadas pelo lançamento direto de poluentes e também pelo mau uso da água. Porém as águas subterrâneas uma vez poluídas são mais difíceis de contornar que a superficial. As atividades antropogênicas podem alterar significativamente a qualidade das águas, tornando-as inadequadas para consumo humano, recreação, indústria e agricultura (MENDIGUCHÍA *et al.*, 2004; VIDAL *et al.*, 2000).

Além desses fatores citados, também existe outro que é bastante preocupante e que requer especial atenção por parte dos usuários e também dos órgãos fiscalizadores: os diversos tipos de agrotóxicos utilizados pelos agricultores para sanar as pragas nas culturas. Estes também podem afetar os corpos hídricos, uma vez que são carreados até os

mananciais através do escoamento superficial, afetando assim os corpos d'água e a saúde da população que venha a ingerir essa água.

2.2 Caracterização da qualidade de água

A crescente demanda de água ao longo do tempo e a necessidade de controle mais eficiente na qualidade deste recurso vem se tornando um fator preocupante para os órgãos gestores e também para a comunidade científica. Esse quadro negativo incentiva a criação de agências e órgãos reguladores bem como o desenvolvimento de pesquisas, com objetivo de auxiliar nas atividades de manutenção saudável desse recurso segundo (PALÁCIO, 2004).

A utilização das águas dos mananciais sem o devido tratamento é frequente, principalmente nas regiões mais carentes desse investimento. Nas regiões semiáridas é comum a utilização de carros pipa que abastecem a população de pequenas comunidades e vilarejos, captando água diretamente dos mananciais sem qualquer tratamento prévio, podendo futuramente causar doenças. Lucena, Menezes e Sassi (2008), analisando a qualidade da água de nove reservatórios localizados em três diferentes zonas climáticas na Paraíba, verificaram que os piores resultados foram encontrados nos reservatórios mais impactados pela ação antrópica, independente das condições físicas ou climáticas da área de localização.

Lopes *et al.*, (2008), avaliando a variabilidade das águas superficiais da bacia do Acaraú (Ceará) constataram nas treze estações distribuídas ao longo da área em estudo, que os valores mais críticos foram registrados na região próxima à cidade de Sobral e também logo após a cidade de Groaíras, onde existe lançamento de efluentes no rio. As águas foram enquadradas em classes que vão de regular a boa e não houve diferença entre as estações chuvosa e seca.

Nesse mesma linha de pesquisa, Palácio (2004), analisou a qualidade das águas superficiais e subterrâneas do vale do rio Trussu, no Alto Jaguaribe e observou que as características físico-químicas apresentaram uma boa qualidade das águas na área estudada. Segundo a autora, existe grande variabilidade espacial na qualidade das águas no trecho

estudado, apresentando pontos que são inadequados para consumo humano. Esta variabilidade se mostrou em dois pontos estudados, num total de nove pontos.

A classificação de um ecossistema aquático com relação ao seu estado trófico envolve o estabelecimento de níveis ou limites, os quais se baseiam na determinação da intensidade do processo de eutrofização associada a suas consequências, (PACHECO, 2009).

Araújo Junior (2009), também analisando a qualidade da água do açude Epitácio Pessoa, situado na sub-bacia do Alto Paraíba (localizada na Paraíba uma das maiores bacias do nordeste) e aplicando o Índice de Carlson modificado, observou que o reservatório obteve classificação predominantemente como sendo oligo-mesotrófico, ou seja, o reservatório apresenta moderado enriquecimento de nutrientes, o que não chega ser tão preocupante comparando, por exemplo, com o reservatório Acarape do Meio, objeto deste estudo, quando Lima (2007), avaliou o seu estado trófico.

2.3 Qualidade da água em mananciais no semiárido

Figueirêdo *et al.*, (2007), avaliando a vulnerabilidade ambiental das bacias dos açudes Araras, Edson Queiroz e Jaibaras, inseridos na Bacia do Acaraú, Ceará, verificaram alta vulnerabilidade à eutrofização nos três açudes pelas susceptibilidades à erosão, alta carga poluidora principalmente pela pecuária extensiva na região e baixa profundidade relativa dos reservatórios.

Altas concentrações de fósforo médio anual foram encontradas nos três reservatórios supracitados com valores de 364, mg/m³, 457, mg/m³ e 328, mg/m³, respectivamente, o que indica hipertrofia em todos, de acordo com (VON SPERLING 1995, *Apud* FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007).

Em estudo realizado no rio Salgado (CE), Sabiá (2008) relatou cinco parâmetros em desacordo com os padrões de qualidade (OD, DBO, coliformes termotolerantes, nitrogênio amoniacal e PT) e propôs o enquadramento do corpo hídrico. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha *et al.*, (2013) ao analisarem a não conformidade entre a qualidade da água de rios e reservatórios do Estado de São Paulo. As

maiores porcentagens de não conformidade com o enquadramento legal foram observadas para as variáveis de fósforo total e oxigênio dissolvido, não apenas nos rios (48,3 e 39%, respectivamente), mas também para os reservatórios (61 e 27%, respectivamente).

O açude Acarape do Meio, objeto deste estudo, é alvo de constantes preocupações por parte da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), por apresentar-se eutrofizado e por ser um dos principais mananciais de abastecimento para vários municípios da Região Metropolitana de Fortaleza, (RMF) beneficiando mais de 70 mil habitantes com água tratada e o Distrito Industrial de Maracanaú com água bruta, onde várias indústrias, principalmente as de bebidas, dependem desse recurso esgotável, que está se tornando de baixa qualidade com o passar dos anos (PACHECO, 2009).

De acordo com o autor supracitado a densidade de bactérias ao longo de todo o estudo se mostrou acima dos limites considerados como de risco pela Portaria do Ministério da Saúde (MS) N° 2914/2011, sendo um fator preocupante com relação principalmente à saúde pública. Outra problemática a ser tratada consiste nos efluentes domésticos que são lançados nos afluentes ao longo da bacia, o qual está contribuindo para os resultados negativos acima supracitados.

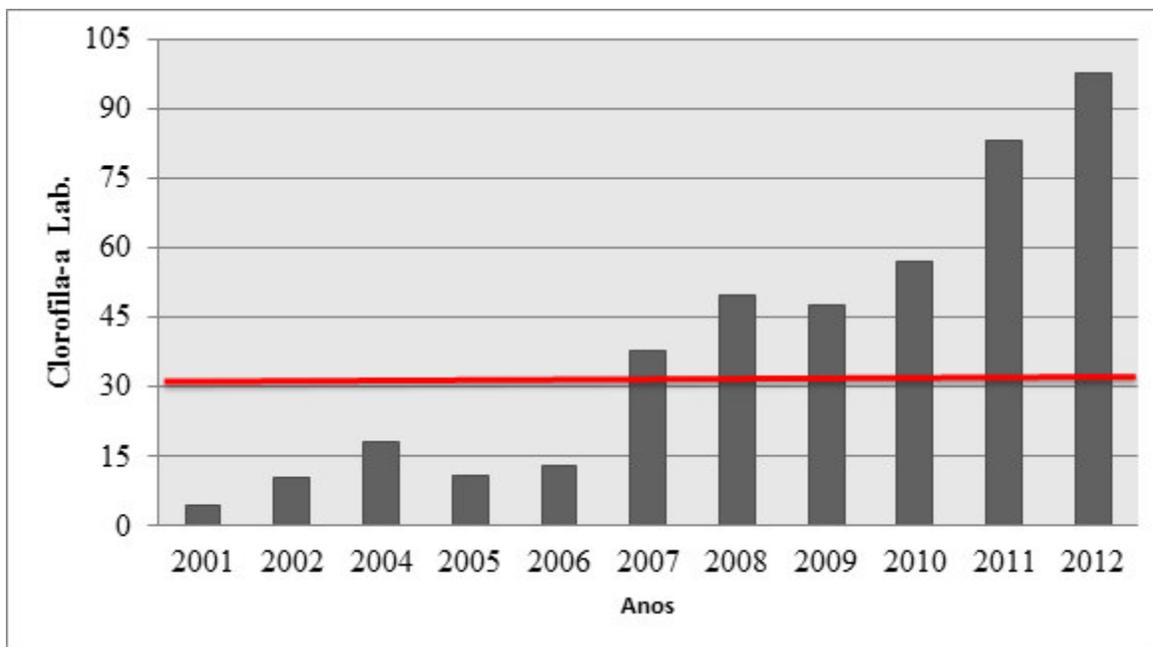
A descarga de nutrientes na bacia em avaliação é também um grande problema a ser tratado, pois de acordo com Lima (2007), as cargas de fósforo e nitrogênio encontradas na seção Canabrava (ver capítulo 3 – Área de estudo) foram de 2.567 e 4.007 kg respectivamente, valores esses encontrados em campanhas realizadas pela COGERH no período de 27/03/06 e 13/05/06, para estimar a carga poluente que chega ao açude Acarape do Meio. Vale ressaltar que a seção Canabrava já fica mais próxima do reservatório e que, dependendo das vazões, que geralmente são pequenas, fica comprometido à autodepuração, ou seja, uma grande parcela da carga orgânica, provavelmente, está sendo lançada diretamente no reservatório.

Com todos esses poluentes que vêm sendo lançados ao longo da bacia e que chegam ao reservatório, surge a eutrofização. Esse fenômeno é natural, porém com o

lançamento de nutrientes nos lagos, tende a acelerar e a causar grandes prejuízos, o que vem acontecendo no reservatório Acarape do Meio, alvo de preocupação pelos órgãos responsáveis pelo monitoramento e também à comunidade científica.

Como pode ser observado na Figura 01, desde 2001, ano em que se iniciou o monitoramento da qualidade da água do açude, até o ano de 2012, a concentração de clorofila-a (análise realizada no laboratório) apresentou uma tendência crescente. Em onze anos houve um aumento em aproximadamente 80%. Como pode ser observado no gráfico, a partir do ano de 2007 o parâmetro ficou acima do limite máximo estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 que é de até $30 \mu\text{g. L}^{-1}$ para corpos d'água de classe II, indicado pela linha vermelha. Estudo realizado por Ribeiro (2007) reforça essa tendência e mostra que há uma forte variabilidade da qualidade das águas neste reservatório, sendo que nos anos de 2004 e 2005 suas águas atingiram um nível de hipereutrófico, o que representa a presença de uma elevada quantidade de nutrientes.

Figura 1 - Média calculada da clorofila-a em $\mu\text{g/L}$ dos anos de 2001 a 2012 para os nove pontos monitorados no reservatório Acarape do Meio. A linha vermelha corresponde ao limite estabelecido pela Resolução Conama357/2005.



Fonte: Autora, (2014).

2.4 Estatística Multivariada

2.4.1 Análise de Componentes Principais - ACP

A análise multivariada de dados é uma extensão natural das análises univariadas e bivariadas. Enquanto a análise univariada estuda os componentes e as distribuições de uma variável isolada, a análise bivariada estuda as interrelações e elabora as análises de variância relativas a duas variáveis simultaneamente (FÁVERO *et al.*, 2009).

Segundo Pereira (2004), a análise multivariada é um extenso campo de conhecimento que envolve uma grande multiplicabilidade de conceitos estatísticos e matemáticos, e dificilmente pode ser perfeitamente dominada por pesquisadores de outros campos de conhecimento, uma vez que isto os afastaria de seus objetivos principais.

A análise multivariada vem se tornando fundamental para a tomada de decisões nos mais variados campos de conhecimentos, tais como a economia, engenharia, sociologia, arqueologia, administração, marketing, operações, finanças, contabilidade entre outras, (FÁVERO *et al.*, 2009).

Inserida na análise estatística multivariada, a análise de componentes principais (ACP) objetiva descrever os dados contidos num quadro de indivíduos-variáveis numéricas: p variáveis serão medidas com n indivíduos.

A ACP é uma técnica matemática da análise multivariada, que possibilita investigações com um grande número de dados disponíveis. Possibilita, também, a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disso, transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os componentes principais (CP) de dimensões equivalentes. Sendo assim, esse pode ser considerado um método fatorial, pois a redução do número de variáveis não se faz por uma simples seleção de algumas variáveis e sim pela construção de novas variáveis sintéticas, obtidas pela combinação linear das variáveis iniciais, (BOUROCHE, 1982 *Apud* VINICI, 2005).

Palácio (2004), utilizando a técnica da componente principal observou que das treze variáveis iniciais, após a rotação foi reduzida onze, as duas componentes restantes, ou seja, foi necessária duas componentes para explicar 83,44% da variância contida nos dados, sendo considerado um bom resultado, visto que de treze variáveis somente duas explicaram mais de 80% dos dados primários sem grandes perdas, mostrando que a técnica utilizada foi bem empregada.

Técnicas de estatísticas multivariada também foram utilizadas por Andrade *et al.*, (2009) para tentar identificar os fatores e as variáveis de maior significância, bem como a variabilidade temporal na qualidade das águas do açude Ayres de Souza, Ceará, Brasil. Para este trabalho foram utilizadas 28 variáveis divididas em quatro pontos distintos na bacia hidráulica do reservatório, no período de set/2004 a mai/2005. Foram utilizadas duas técnicas, a análise de agrupamento hierárquico (AAH) e análise de componentes principais. Pela AAH foi possível identificar que a similaridade na qualidade da água foi definida pela sazonalidade climática, independente do ponto de amostragem na bacia hidráulica. Por meio da outra técnica pode ser observado que a qualidade da água relaciona-se com dois fatores, explicando 82% da variância total. O primeiro fator explicou 58% da variância total, estando relacionado a ações antrópicas. O segundo fator explicou 24% da variância relacionando-se aos processos de mineralização natural das águas pelos solos.

2.4.2 Análise de Agrupamento - AA

A análise de agrupamento (AA) engloba uma grande gama de algoritmos, sendo que o objetivo primordial dela é encontrar e separar objetos em grupos similares, para dado conjunto de características, (VICINI, 2005). A mesma constitui uma metodologia numérica multivariada, objetivando propor uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento dos grupos formados, mais especificamente, transformar o conjunto de observações em um número de grupos.

Esta técnica estuda todo um conjunto de relações interdependentes, ou seja, ela não distingue entre variáveis dependentes de independentes, isto é, variáveis de causa de efeito como, por exemplo, na regressão.

A finalidade dessa técnica é reunir os objetos dentro de um grupo, unindo no mesmo grupo aqueles que têm maior semelhança e distanciando-se quando houver dessemelhança entre eles. Este método pode ser trabalhado utilizando o modelo hierárquico e o não hierárquico. Os mais utilizados são os modelos hierárquicos. Este tipo de modelo caracteriza-se pelo estabelecimento de uma hierarquia, como o próprio nome sugere, ou estrutura em forma de árvore para melhor entendimento. Já o segundo método se caracteriza por procurar maximizar a homogeneidade intra grupo, sem considerar a hierarquia entre grupos.

Essa técnica está sendo utilizada em diversas áreas de estudo. Leal (2006), analisando as características da água da lagoa Jacuném no Espírito Santo, fez uso dessa técnica visando verificar as possíveis tendências de correlações amostrais entre as variáveis limnológicas. Já Aquino (2007), objetivando diagnosticar a influência do manejo de irrigação e da sazonalidade climática sobre a dinâmica de sais, utilizou o método de agrupamento para identificar grupos de qualidade de água subterrânea no Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú, definindo-se quatro grupos distintos.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Caracterização geral da área de estudo

O Estado do Ceará está localizado na região Nordeste do país, no chamado Polígono das Secas, cuja característica é de índice pluviométrico oscilante e má distribuição espacial das chuvas. O Nordeste tem sido com frequência associado à zona de incidência das secas, tendo 936.993 km² no já mencionado Polígono das Secas, delimitado pela Lei n° 1347 de 10 de fevereiro de 1951 - como área de atuação do Departamento Nacional de Obras contra as Secas - DNOCS (REBOUÇAS, 1997).

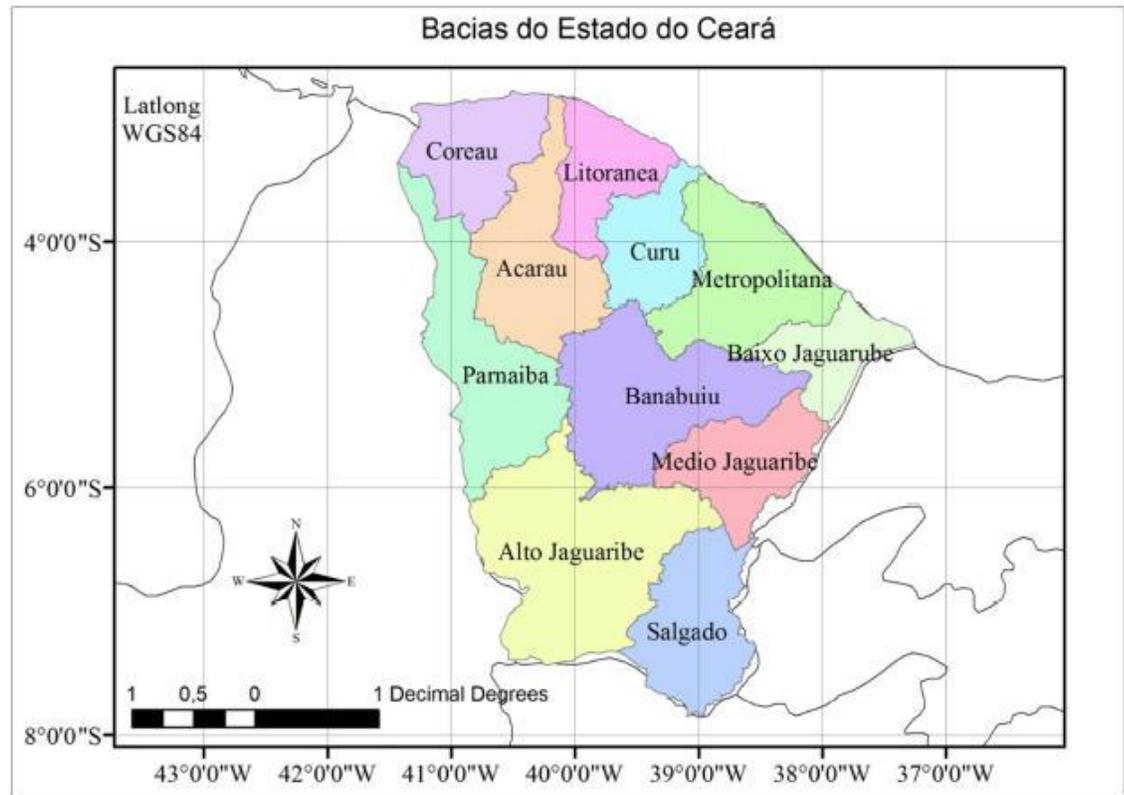
Com 8,78 milhões de habitantes, o Ceará aparece como o terceiro Estado mais populoso do Nordeste, atrás da Bahia, que registra 15 milhões de habitantes, e de Pernambuco, com 9,21 milhões. O Ceará possui 184 municípios e cobre uma área de 148.920 km², dos quais aproximadamente 93% estão inseridos no semiárido. O restante da área é basicamente o litoral que concentra 1/3 da população do estado. (CEARÁ, 2013). O Nordeste brasileiro apresenta sérios problemas de escassez hídrica, com secas prolongadas e severas, causando grandes problemas de ordem econômica e social.

O Estado do Ceará, especificamente, por suas características geológicas próprias, pode ser considerado penalizado pelas adversidades climáticas, possuindo mais de 90% de sua superfície territorial na região semiárida. Tem a maior parte de seu território sobre formações de rochas cristalinas, favorecendo que o escoamento dos rios se dê quase unicamente no período chuvoso (LIMA, 2007; CEARÁ, 2001). De acordo com a COGERH, a capacidade de acumulação dos principais reservatórios das bacias da Região Metropolitana de Fortaleza soma 412,4 hm³ (COGERH, 2014). A Figura 02 ilustra a localização das principais bacias hidrográficas do Ceará.

O presente trabalho teve como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio, distando 75 km de Fortaleza (Figura 03). A bacia do Acarape do Meio localiza-se na região do Maciço de Baturité e compreende os municípios de Baturité, Guaiúba, Guaramiranga, Redenção, Pacoti, Mulungu, Palmácia e Redenção, totalizando

uma população de 138.409 habitantes e uma área de 1.380 km², representando 0,93% da área total do Ceará, (IBGE, 2010). A mesma faz parte da Bacia do Rio Pacoti e está inserida na Região denominada Bacias Metropolitanas (Figura 2).

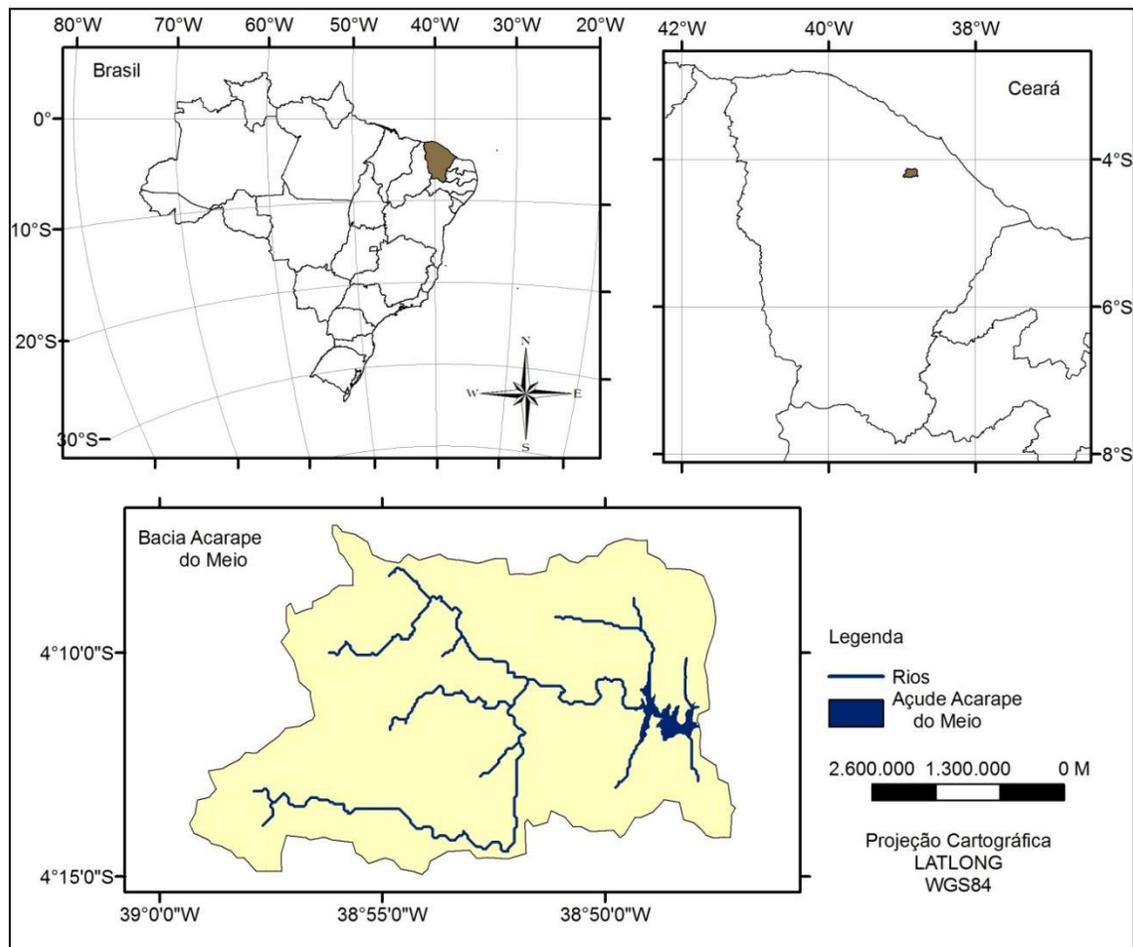
Figura 2- Localização das principais Bacias do Ceará



Fonte: Sousa (2014).

O Açude Acarape do Meio está localizado no município de Redenção, com coordenadas geográficas 523.593E e 9.536.618N, no rio Pacoti, possui capacidade de armazenamento de 31,5 milhões de m³ e bacia hidrográfica de 210 km². Sua extensão pelo coroamento é de 266 m, com largura 4 m, com vazão regularizada de 1,42 m³.s⁻¹, altura máxima da barragem de 32,38m, tomada d'água tipo galeria com tubulação com comprimento de 25,75m e diâmetro de 400 mm (CEARÁ, 2013).

Figura 3- Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio



Fonte: Sousa, (2014).

O açude Acarape do Meio, formado pela Barragem Eng. Eugênio Gundin, teve como principal objetivo da sua construção, segundo o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS, 1997), o abastecimento de Fortaleza, que possuía na época, uma população de aproximadamente 100.000 habitantes. Hoje em dia o reservatório continua sendo de grande importância estratégica, pois abastece com água bruta o Distrito Industrial de Maracanaú, e as cidades de Pacatuba, Guaiuba, Maranguape, Redenção, Acarape,

Barreira e o distrito de Antônio Diogo, além de perenizar o vale entre os municípios de Redenção e Acarape (CEARÁ, 2008).

A escolha desta bacia se deu pelo fato de o reservatório ser de grande importância para o abastecimento de múltiplos usos, destacando-se o abastecimento humano para seis sedes municipais e fornecendo água bruta para o maior parque industrial do Estado do Ceará, com cerca de 60 indústrias, além de fornecer água para a agricultura irrigada a montante e a jusante do reservatório. Outro fator muito importante que influenciou na escolha deste reservatório foi o fato de o mesmo estar sofrendo com ações antrópicas, como plantio no entorno do reservatório, queimada e ocupação desordenada, contribuindo de forma direta para a degradação da qualidade da água (MAMEDE, 2012).

3.2 Clima e Vegetação

A região em estudo apresenta clima, de acordo com Koppen (1918), do tipo Amw' tropical chuvoso de monção. A bacia é localizada em relevo acidentado, onde acontecem chuvas orográficas com índices pluviométricos superiores a 1.400 mm anuais. A temperatura é em média 25°C, atingindo valores inferiores a 22°C no alto da Serra de Baturité. Já o número de horas de insolação varia de 7,26 a 8,21 horas/dia e a altura média anual de evaporação potencial é de 562 mm (CEARÁ, 2008).

A vegetação (Figura 4) da região compreende três formações: caatinga arbustiva densa, floresta subcaducifólica tropical pluvial e floresta subperenifólia tropical pluvio-nebular. A referida figura mostra que existem áreas que estão sendo utilizadas para o plantio nos morros. Essa prática pode vir a causar desmoronamento de terras e erosões na bacia em diversos pontos, como foi observado no decorrer da pesquisa.

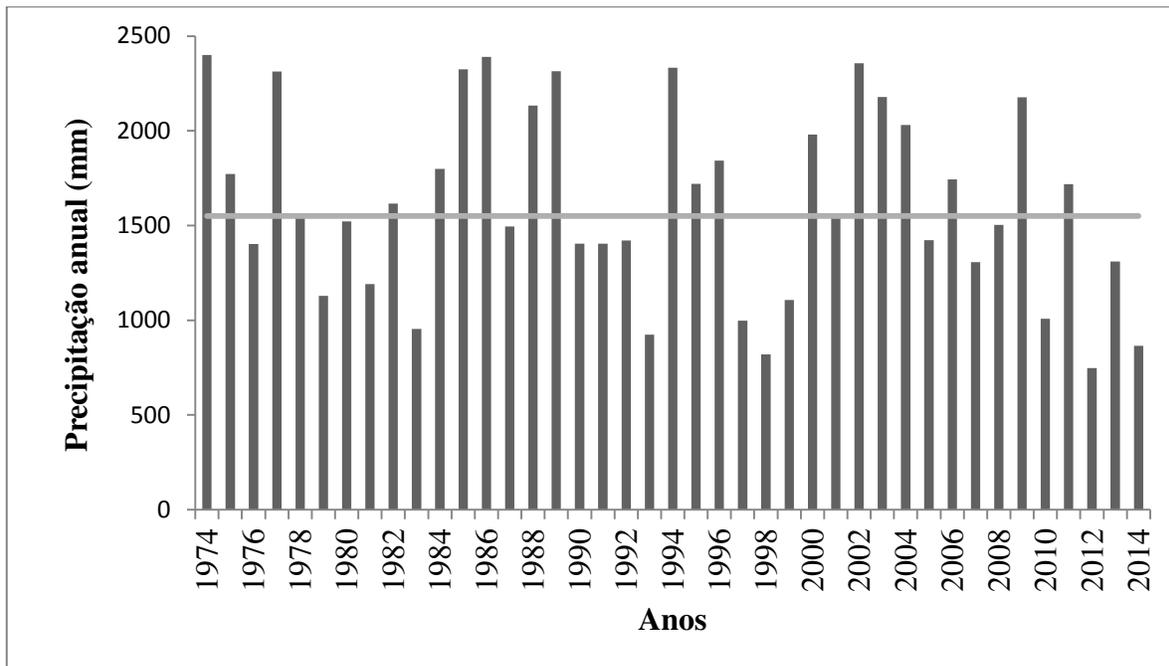
Figura 4- Vegetação da área em estudo, maio 2014.



Fonte: Autora, (2014).

As precipitações no Estado do Ceará podem ser consideradas mal distribuídas, temporal e espacialmente, fenômeno que se torna agravante nos períodos de estiagem. Na Figura 05 estão apresentadas as precipitações pluviométricas anuais (mm) para o posto Meteorológico de Guaramiranga, disponibilizadas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2014). Pode-se observar as irregularidades das chuvas ao longo dos 40 anos de observação. De acordo com Porto *et al.*, (1983), de um modo geral apenas três em cada dez anos são considerados normais quanto à distribuição das precipitações.

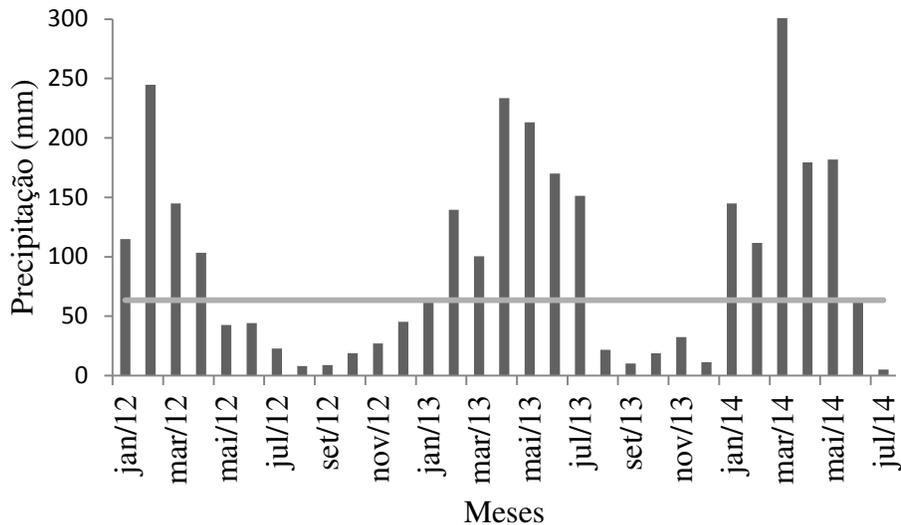
Figura 5- Precipitações totais anuais do posto de Guaramiranga, com destaque para a média anual.



Fonte: Funceme, (2014).

Na Figura 06 estão expostas as precipitações mensais dos anos de 2012 a 2014, na qual se observa que a precipitação foi bem irregular, tendo as menores precipitações ocorridas entre os meses de julho e novembro, como é de se esperar, uma vez que o período chuvoso na área de estudo se concentra entre os meses de janeiro a maio. No ano de 2012 o total precipitado foi de 747 mm, já para o ano seguinte a precipitação totalizou 1310 mm, (FUNCEME, 2014). Analisando-se os dados pluviométricos mensais, vale destacar que as precipitações costumam concentrar-se em alguns meses do ano hidrológico e os meses restantes constituem um período seco, apresentando poucas precipitações. Isso é uma das características das regiões semiáridas, as quais são caracterizadas por elevada variabilidade interanual e intra-anual das precipitações e altas taxas de evaporação.

Figura 6 - Precipitações mensais na área de estudo no período de janeiro de 2012 a julho de 2014



Fonte: Funceme, (2014).

3.3 Caracterização do Solo da Região

O conhecimento dos tipos de solos é de fundamental importância para o desenvolvimento de várias atividades, principalmente quando se trata das atividades ligadas à agricultura. Nos diversos tipos de solos existente no Estado do Ceará, três se destacam por possuírem maior ocorrência: os Neossolos, com 53.525 km² ou 36% da área do Estado; os Argissolos, com 36.720 km² ou 25%; e os Luvisolos com 17% da área total do Estado ou 24.885 km² (IPECE, 2014).

Os Neossolos são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando nenhum tipo horizonte B (JACOMINE, 2009). Os Argissolos são constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta combinada com saturação por bases baixa ou caráter alético. Por sua vez, os Luvisolos possuem acumulação de argila conjugada com argila de atividade de alta e saturação por base elevada. Na Tabela 01 observa-se diversos tipos de solo, abrangendo o Brasil e, especificamente, o Ceará.

Tabela 1- Percentual dos diferentes tipos de solos no Brasil e Ceará

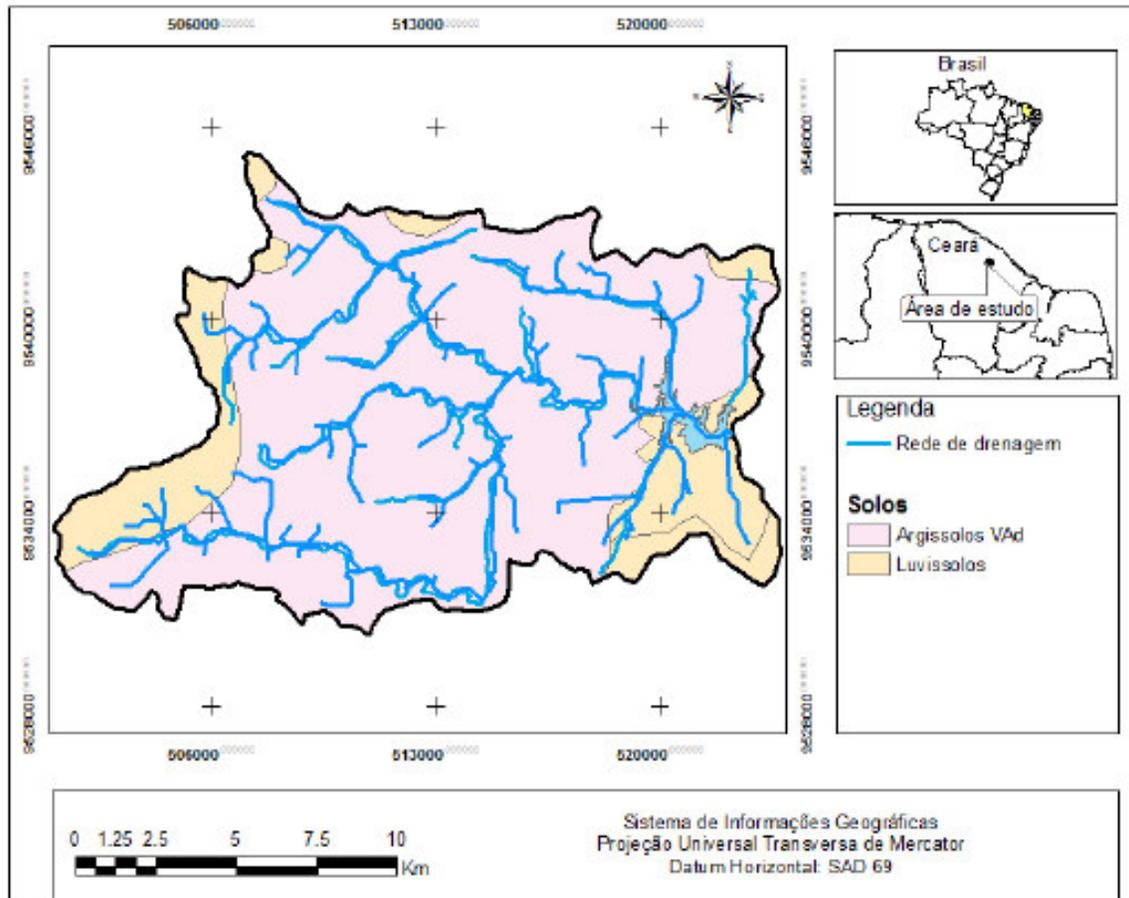
Solos	Brasil		Ceará	
	Área (km ²)	Percentual (%)	Área (km ²)	Percentual (%)
Argissolos	1.713.853	19,98	36.720	24,67
Cambissolos	232.139	2,73	1.352	0,92
Cheernossolos	42,363	0,53	1.497	1,02
Gleissolos	311.445	3,66	1.127	0,77
Latossolos	3.317.590	38,73	8.071	5,48
Luvisolos	225.594	2,65	24.885	16,72
Neossolos	1.246.898	14,57	53.525	35,96
Nitossolos	119.731	1,41	859	0,58
Planossolos	155.152	1,84	16.803	11,40
Vertissolos	169.015	2,01	2.083	1,41
Plintissolo	508.539	5,95	446	0,3
Total	4.562.638		147.373	

Fonte: Embrapa (2002) e IPECE (2003), citados por WIEGAND (2009).

No Ceará, os solos agricultáveis são utilizados para o cultivo de hortifruticultura, figurando como principais culturas a banana, cana-de-açúcar, tomate, chuchu, milho e feijão (CEARÁ, 2008). Estas áreas abrigam ainda significativas representações de renascimento florestais. As várzeas fluviais são bastante aproveitadas pelas lavouras de vazantes, constituídas, basicamente, pelas culturas de alimentos como milho, feijão, mandioca e melancia.

Especificamente na bacia do Açude Acarape do Meio, os grupos de solos predominantes são: Argissolos vermelho amarelo distrófico e Luvisolo, como ilustra a Figura 07 (FRANÇA, 2013).

Figura 7- Tipos de solos na Bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio.



Fonte: França, (2013).

- **Argissolos Vermelho Amarelo distrófico (VAd)**

Esse tipo de solo ocorre na região da serra do Baturité em relevo forte ondulado a montanhoso. Geralmente são bem drenados, profundos, ácidos a moderadamente ácidos, porosos a muito porosos, a textura varia de arenosa média a argilosa. A coloração é variada, indo desde tonalidades vermelho amarelas até bruno-acinzentado. Por ser de caráter ácido, recomendando-se a correção de pH e uso de fertilizante por apresentar baixa fertilidade (ANA, 2010 *apud* FRANÇA, 2013).

A característica marcante do solo desta classe é o aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textura (Bt), geralmente tem uma diferenciação bastante considerada das outras cores. A profundidade também é bastante variável, porém em geral, são poucos profundos e profundos (IBGE, 2007).

- **Luvisolos**

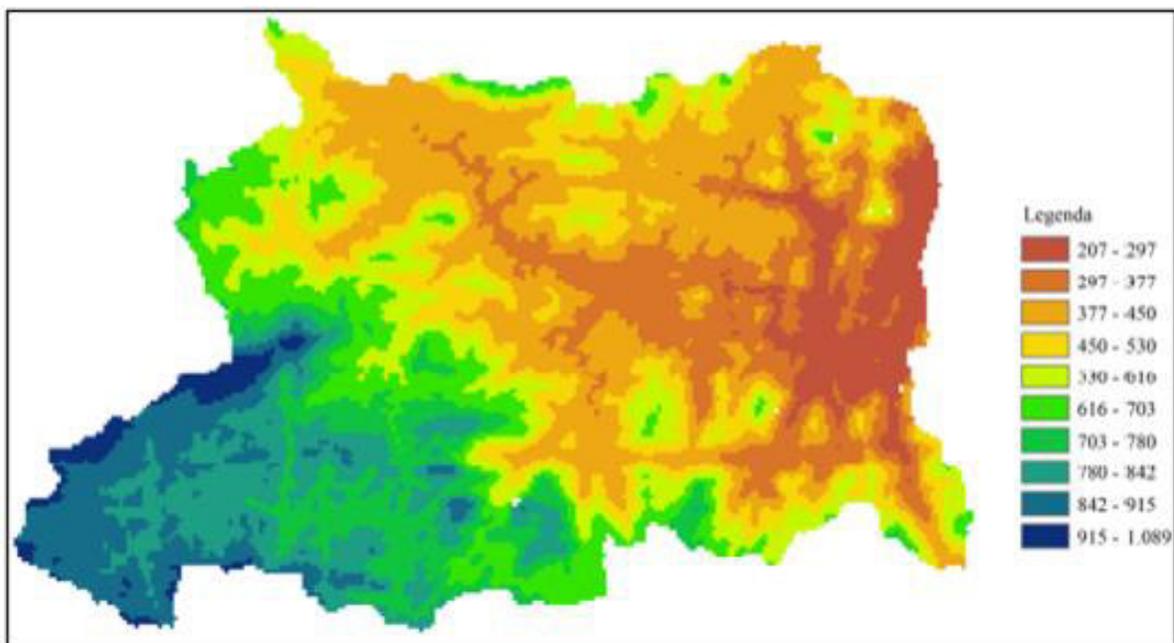
São solos de profundidade mediana, com cores variando de vermelhas a acinzentadas, horizonte B textural ou nítico abaixo de horizonte A fraco, moderado ou horizonte E, argila de atividade alta e saturação por base (IBGE, 2007). Ocupam terrenos de relevo variando desde plano até montanhoso e originados a partir de materiais distintos. Estes solos se adaptam a cultivos de milho, feijão, mandioca, algodão e pecuária extensiva, nas áreas onde predomina relevo menos acidentado (FRANÇA, 2013).

3.4 Topografia da Região

De acordo com trabalhos realizados por Sousa (2014), utilizando modelo digital de terreno elaborado com base em arquivos *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 92m, a bacia em estudo apresenta uma altitude variando de 207 a 1.089 m acima do nível do mar (Figura 08), nos pontos mais elevados (azul escuro) se encontram as cidades de Guaramiranga e Mulungu, cabeceira do Rio Pacoti, principal afluente do reservatório Acarape do Meio.

No que se refere à análise de declividades, verifica-se que esse fator está atrelado a diferentes formas de relevo da bacia, pois quanto maior a declividade maior será a prospeção de deslizamento de terra. Estudo realizado por Sousa (2014), ressaltou que em 2009 ocorreu um deslizamento de terras no local onde havia plantações de banana. As raízes dessa cultura são do tipo fasciculadas ou se distribuem mais horizontalmente, podendo chegar no máximo a 50 cm de profundidade, característica essa que não contribui para a proteção contra efeitos erosivos quando submetidos a chuvas.

Figura 8- Mapa de altimetria da bacia do Açude Acarape do Meio.



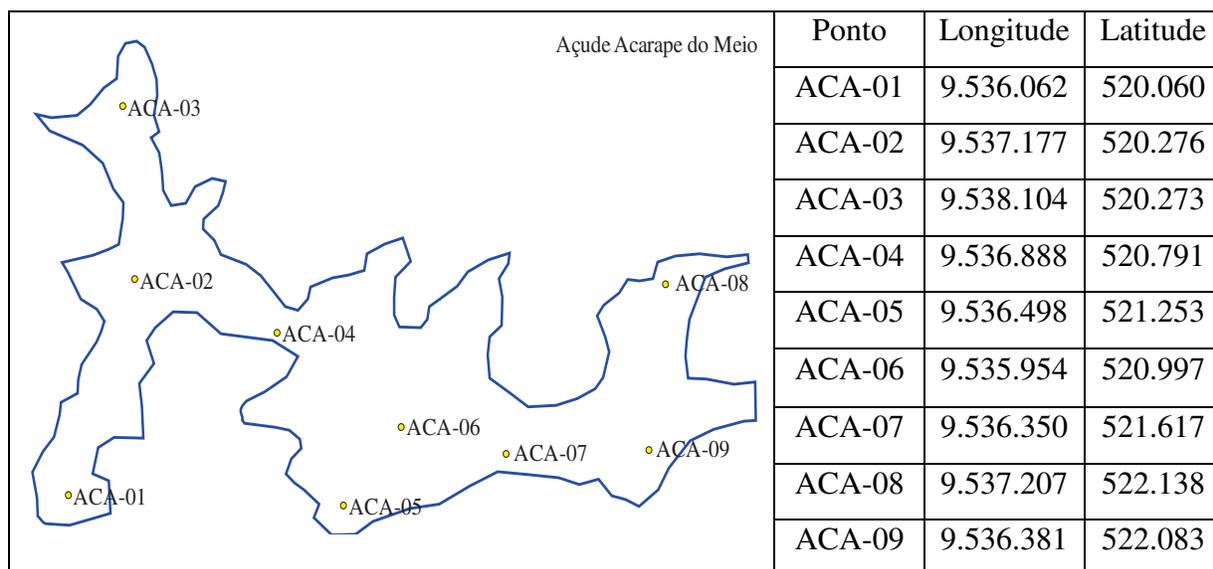
Fonte: Sousa, (2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Monitoramento qualitativo do Açude Acarape do Meio

O monitoramento de qualidade da água do Açude Acarape do Meio tem sido realizado desde 2001 pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH. Dentro do reservatório existiam inicialmente nove pontos de monitoramento denominados de ACA-01 a ACA-09 (Figura 09), porém a partir do ano de 2003 o ponto ACA 07 foi desativado por apresentar características semelhantes ao ponto ACA 05, (RIBEIRO, 2007). As medições são realizadas com sonda paramétrica dotada de sensor para medição de turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH e temperatura. Adicionalmente, amostras são coletadas para a realização de análises laboratoriais de parâmetros químicos e biológicos.

Figura 9- Localização dos pontos de monitoramento no Açude Acarape do Meio (coordenadas em UTM WGS84)



Fonte: Ribeiro, (2007).

A Figura 09 apresenta a distribuição dos pontos de coletas no reservatório. Lima (2007), citado por Ribeiro (2007), a respeito dos pontos de coleta, informa:

- Ponto 1- recebe principalmente contribuições de áreas rurais - plantações de banana, arroz, feijão e milho, além de criação de animais (porco e gado);

- Ponto 2- recebe contribuições que vêm dos municípios de Pacoti e Guaramiranga, que possuem sistema de esgotamento sanitário com tratamento do tipo decantador-digestor. Estas contribuições chegam principalmente por meio do rio Pacoti.
- Ponto 3- Recebe contribuição do município de Palmácia, que na época não dispunha de sistema de tratamento de esgoto.
- Ponto 4- próximo ao ponto 5 e também ao ponto 7, sendo este último desativado desde de 2003 por apresentar padrões parecidos com o do ponto 5;
- Ponto 5- recebe contribuição do Rio Pacoti;
- Ponto 6- próximo à margem direita do reservatório bem como ao ponto 5;
- Ponto 8- este ponto fica perto do vertedouro e recebe também pequenas contribuições de origem rural (plantações de banana, feijão e milho);
- Ponto 9- este é considerado o mais representativo do reservatório, sendo o mais profundo e também por estar próximo à tomada d'água da adutora que abastece o Distrito Industrial de Maracanaú.

Para o estudo da evolução temporal da qualidade da água no açude foram avaliados os dados disponíveis referentes aos oito pontos de monitoramento. No entanto, optou-se por realizar a análise considerando somente os dados do ponto de monitoramento ACA 09 uma vez que se identificou uma grande quantidade de falhas nas séries de dados dos parâmetros de qualidade, o que dificultaria sobremaneira a aplicação de técnicas estatísticas. A escolha do ponto ACA 09 se deu pelos seguintes motivos:

- Maior representatividade para os objetivos do estudo dentre os pontos de monitoramento, por estar situado no local mais profundo do açude, como também estar mais próximo da barragem e mais perto da tomada d'água da adutora;
- Menor quantidade de falhas se comparando com os demais pontos de monitoramento no açude.

Os dados de qualidade da água do Açude Acarape do Meio foram gentilmente disponibilizados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), que vem

monitorando o referido reservatório desde 2001. O monitoramento vem sendo realizado em todos os pontos dentro do reservatório desde desse período.

No banco de dados existiam oitenta e quatro parâmetros de qualidade de água, alguns indicados na Resolução CONAMA 357/2005. Nos onze anos de acompanhamento foram realizadas 312 medições de 84 parâmetros nos nove pontos ilustrados na Figura 09. Todos os parâmetros contabilizados estão apresentados no Apêndice A, o qual apresenta os dados do período de 29 de janeiro de 2001 a 16 de outubro de 2012, os valores máximos, mínimos e a média para cada parâmetro, bem como os limites para as três primeiras classes de enquadramento das águas doces segundo a Resolução CONAMA 357/20.

Após o processamento dos dados e a aplicação de estatística multivariada, descrita detalhadamente a seguir, os parâmetros que foram mais representativos para explicar a variação da qualidade da água no açude estão expostos na Tabela 02. Dos oitenta e quatro parâmetros foram selecionados vinte e dois, uma vez que o restante do banco de dados existia muitas falhas e, após análise estatística, foram selecionados nove parâmetros indicados pela técnica das componentes principais como os mais representativos para o estudo.

Tabela 2 - Parâmetros representativos utilizados na análise estatística multivariada

Parâmetros	Unidades
Cálcio	mg/L C_a
Clorofila-a	μ g/L
Condutividade Elétrica	μ S/cm
Fósforo Total	mg/L P
Nitrogênio Amoniacal	mg/L NH_4^+
Nitrogênio Total	mg/L N
Ortofosfato Solúvel	mg/L
Oxigênio Dissolvido –OD	mg/L O_2
Potássio	mg/L K

Fonte: Autora, (2014).

4.2 Análise estatística multivariada

4.2.1 Análise de Agrupamento - AA

A interpretação dos dados para identificação de padrões na evolução temporal da qualidade da água do Açude Acarape do Meio foi realizada empregando-se análise estatística multivariada do software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) 13.0. Foram empregadas duas técnicas, cujos detalhes são apresentados a seguir: a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Agrupamento (AA).

As amostras de água foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, objetivando classificar em grupos similares. Para a identificação dos grupos semelhantes dos pontos amostrais utilizou-se a análise de agrupamento (*cluster analysis*) através do processamento do software supracitado.

Os erros devido às escalas e as diferentes unidades foram evitados fazendo a normalização dos dados (*z score*). Nesse estudo os dados foram normalizados com média igual zero ($\mu = 0$) e variância igual a um, ($\sigma = 1$) pela seguinte equação:

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i}{s_i} \quad (1)$$

Onde:

X_{ij} : representa o valor da j-ésima observação da j-ésima variável;

X_i : representa a média da variável X_{ij} ;

S_i : representa o desvio padrão da variável X_{ij} ;

Y_{ij} : é a representação da j-ésima observação da i-ésima variável transformada.

$i = 1 \dots M$ variáveis (9)

$J = 1 \dots N$ Amostras (37)

Adotou-se uma medida de distância euclidiana ao quadrado, por ser essa a mais utilizada, segundo (EVERITT, 1993 *Apud* por AQUINO 2007). O algoritmo de agrupamento que foi utilizado na definição dos agregados neste trabalho foi o método Ward recomendado por (HAIR *et al.*, 2005). Este método busca minimizar a medida de dispersão.

Segundo Hair *et al.*, (2005), o método de Ward consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar

agrupamentos é calculada como sendo a soma de quadrados entre dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis.

4.2.2 Análise das Componentes Principais (ACP)

A análise de componentes principais é utilizada para avaliar a relação entre as variáveis que estão sendo analisadas, evidenciando o peso individual de cada um dos elementos físicos, químicos e biológicos, que impactam na qualidade da água dos mananciais (GIRÃO, 2006).

Neste estudo, a Análise de Componentes Principais foi utilizada para identificar os parâmetros mais representativos da qualidade da água do ponto de monitoramento ACA 09 do açude Acarape do Meio, nos anos de 2004 a 2012.

Inicialmente foi realizada a normalização dos dados para em seguida se trabalhar com a matriz de dados. Um problema encontrado na aplicação de modelos estatísticos é que as variáveis nem sempre têm as mesmas dimensões (e, portanto, diferem obrigatoriamente também as respectivas unidades). Por exemplo, o fósforo é expresso em mg/L, o pH é adimensional, a clorofila em µg/L, a condutividade elétrica em µS/cm. A solução indicada para esse problema é a normalização dos dados: média igual a zero ($\mu=0$) e variância igual a um ($\sigma=1$).

$$X_{sij} = \frac{x_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \quad (2)$$

Onde:

X_{ij} : representa o valor observado j-ésimo i-ésima variável;

\bar{X}_i : representa a média da amostra X_{ij} ;

S_i : representa o desvio padrão da variável X_{ij} ;

X_{sij} representa a observação da variável j-ésimo normalizada

$i = 1 \dots M$ variáveis (9)

$j = 1 \dots N$ amostragens (37)

Após a normalização dos dados, é elaborada a matriz de correlação $R[p \times p]$, sendo p o número de parâmetros analisados. A matriz de correlação mede a associação linear entre as variáveis, por meio do coeficiente de correlação de Pearson. De acordo com Hair *et al.*, (2005) se a inspeção visual da matriz de correlações não revelar um número substancial de valores superiores a 0,30, há fortes indícios de que a utilização da técnica não seja apropriada.

Na forma da matriz, têm-se as seguintes expressões:

$$X_d = X - a'x \quad (3)$$

Onde:

X_d : matriz da variável corrigida pela ($M \times N$)

X : matriz dos dados na dimensão ($N = 36 \times M = 9$)

A' : [$a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1M}$] sendo $a=1$

$X = \frac{a'X}{M}$ Que representa a matriz linha contendo a média das N variáveis (4).

A variância das amostras pode ser calculada para cada variável X_d como:

$$S_i^2 = \frac{1}{N-1} X'_{di} X_{di} \quad (4)$$

Normalização dos dados

$$X_s = X_d D^{-1/2} \quad (5)$$

Onde:

$D^{-1/2}$: representa a matriz da variância individual da i -ésima variável, uma matriz diagonal na forma a seguir:

$$D^{-1/2} = \begin{bmatrix} \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^N x_{1j}^2 / N - 1}} \right] & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^N x_{2j}^2 / N - 1}} \right] & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^N x_{3j}^2 / N - 1}} \right] & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^N x_{4j}^2 / N - 1}} \right] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^N x_{5j}^2 / N - 1}} \right] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \left[\frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^N x_{Mj}^2 / N - 1}} \right] \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{X}_s = \mathbf{X}'_d \mathbf{X}_d \quad (6)$$

Onde:

\mathbf{X}_s : é a matriz dos dados normalizados composta pelos valores X_{ij} ($i = M$ e $j = N$)

Matriz de correlação, \mathbf{R}

$$\mathbf{R} = \frac{1}{M-1} \left(\mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{S} \mathbf{D}^{-1/2} \right) \quad (7)$$

Onde:

$\mathbf{S} = \mathbf{X}'_d \mathbf{X}_d$ representa matriz da soma dos quadrados dos valores corrigidos pela média.

Antes de aplicar o método de extração dos fatores, faz-se necessário verificar, a partir da matriz de correlação, o teste de adequacidade, o qual visa examinar se o modelo da ACP pode ser aplicado aos dados levantados no estudo. Para essa verificação, aplica-se o

teste de Kayser-Mayer-Olkin (KMO), proposto por Kaiser (1974) citado por Norusis, (1990), o qual afere a consistência dos dados. Ele fornece a probabilidade estatística de que a matriz de correlação tenha correlações significantes entre pelo menos algumas das variáveis (HAIR *et al.*, 2005). Este índice varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de um, mais adequada é a técnica utilizada. Caso esse índice seja menor que 0,5 significa que a técnica não está adequada para os dados.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (8)$$

Onde:

r_{ij} : coeficiente de correlação simples entre as variáveis i e j ;

a_{ij} : coeficiente de correlação parcial entre as variáveis i e j .

Se a soma dos coeficientes de correlações parciais (correlação parcial é aquela que não é explicada quando os efeitos de outras variáveis são levados em consideração), ao quadrado, entre todos os pares de variáveis, for pequena quando comparado à soma dos coeficientes de correlação simples ao quadrado, a média de KMO será próxima de um (CARNEIRO NETO, 2010). O valor de KMO próximo de zero indica que a análise de componentes principais pode não ser adequada, pois existe uma correlação fraca entre as variáveis. Por outro lado quanto mais próximo de um, mais adequado é o uso da técnica. Com esse método, compara-se a magnitude dos coeficientes de correlação simples observados com os coeficientes de correlação parcial, obtendo-se o índice supracitado. Os intervalos das faixas dos valores de KMO estão expostos na Tabela 03.

Tabela 3 – Intervalos de validades do teste de KMO, para aplicação do modelo de análise de fator

KMO	ACP
1-0,9	Muito boa
0,8-0,9	Boa
0,7-0,8	Média
0,6-0,7	Razoável
0,5-0,6	Má
<0,5	Inaceitável

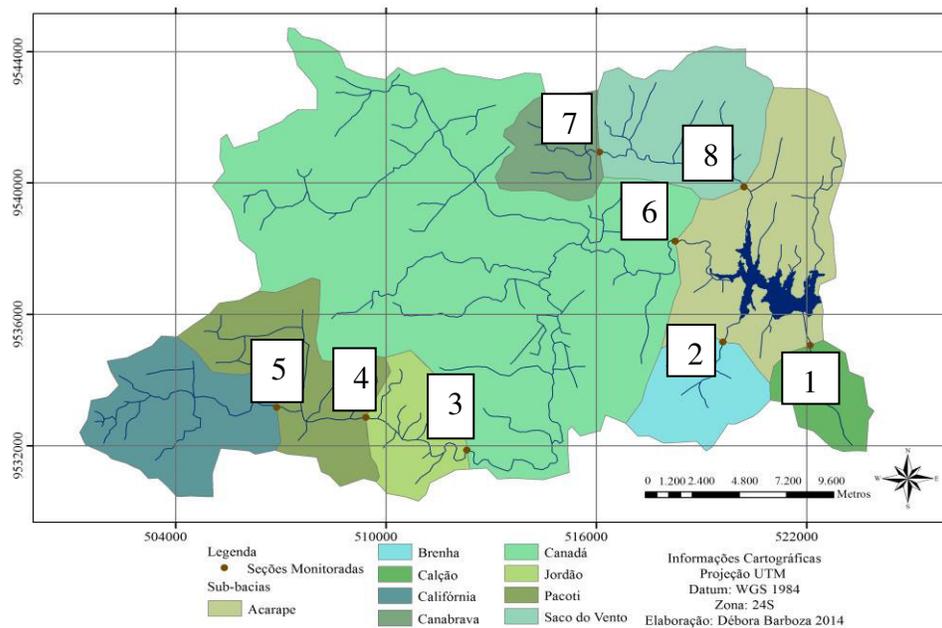
Fonte: Fávero *et al*, (2009).

4.3 Caracterização e monitoramento das seções fluviais

A caracterização das seções fluviais de monitoramento ocorreu inicialmente em maio de 2012 pela COGERH. No ano seguinte foram realizadas campanhas nas seções: Canadá, Sítio Jordão, Califórnia, Seção Pacoti, Saco do vento, Calção, Brenha e Canadá (Figura 10), nos meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho e agosto para avaliar os parâmetros de qualidade de água, principalmente o fósforo e a clorofila -a, uma vez que esses parâmetros são os principais indicadores de eutrofização, fenômeno que vem se agravando no decorrer dos anos no reservatório em estudo.

Na Figura 10 pode ser observada a localização das oito seções de monitoramento: Canabrava, Saco do Vento, Canadá, Riacho do Calção, Brenha, Pacoti, Sítio Jordão e Sítio Califórnia.

Figura 10 - Localização das seções em monitoramento



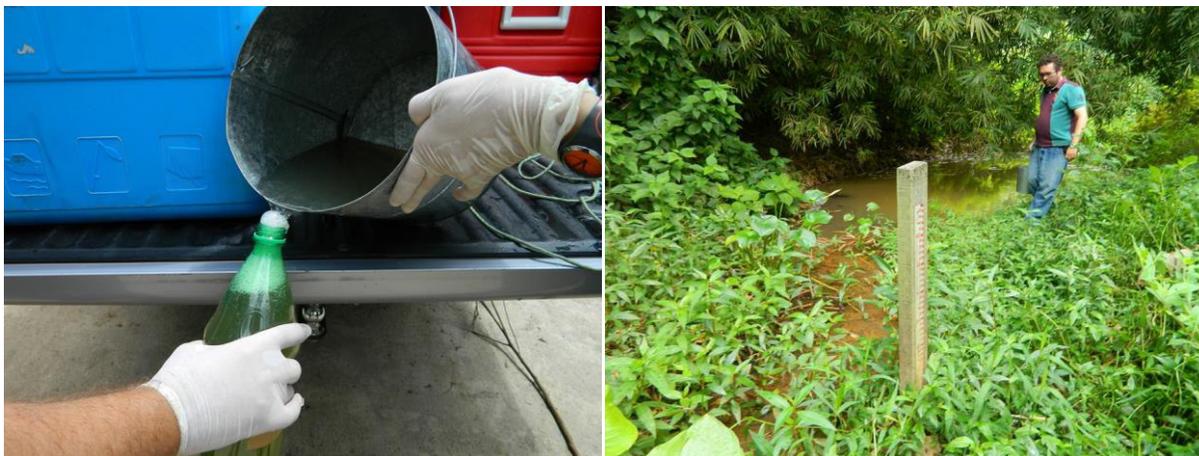
Fonte: Autora, (2014).

As seções fluviais foram monitoradas com a finalidade de avaliar a variabilidade espacial da qualidade da água e quantificar as cargas poluidoras da bacia do Acarape do Meio.

No primeiro semestre de 2014 foram realizadas campanhas no âmbito desta pesquisa, para complementar os dados de qualidade da água nas seções monitoradas pela COGERH. Com a escassez de chuvas no período, não foi possível fazer coletas em todas as seções, visto que já se passaram dois anos secos (2012-2013) e no final de 2013 a maioria das seções se encontrava sem água. Mesmo na seção que apresentava água corrente (Sítio Jordão), era necessário captar com um balde, como pode ser observado na Figura 11.

As campanhas foram retomadas quando as precipitações foram suficientes para produzir escoamento e assim, viabilizando a retomada dos trabalhos de campo. Nos meses seguintes foram realizadas campanhas em todas as oito seções de monitoramento mensalmente, iniciando em março e finalizando em junho de 2014.

Figura 11– Situação da seção Sítio Jordão em outubro-2013, única seção com água



Fonte: Autora, (2014).

4.3.1 Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas incrementais das seções de monitoramento

Algumas características morfométricas das bacias hidrográficas incrementais das seções de monitoramento e da bacia incremental do Acarape do Meio foram calculadas através de programas de SIG, (área, comprimento total dos rios, perímetro, comprimento do rio principal e declividades). As demais características foram calculadas seguindo recomendações de Vilella e Mattos (1975) como pode ser visto na Tabela a seguir.

Tabela 4 – Características morfométricas das bacias incrementais das seções de monitoramento na bacia do Acarape do Meio

Características	Seções de Monitoramento									Unidades
	Saco do Vento	Pacoti	Jordão	Canadá	Canabrava	Califórnia	Calção	Brenha	Acarape	
Área	17,47	17,44	8,86	102,12	7,71	17,08	6,44	9,43	27,09	Km ²
Comp. Total dos rios	14,84	16,32	11,53	89,69	7,72	15,92	3,46	5,02	31,29	Km
Perímetro	16,84	21,98	12,34	55,61	11,40	18,24	10,39	12,09	24,92	Km
Comprimento do Rio Principal	4,86	7,46	3,56	13,81	2,01	5,54	3,40	2,42	4,59	Km
Declividade Média	0,20	0,15	0,18	0,21	0,21	0,13	0,30	0,28	0,24	m/m
Declividade Mínima	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	m/m
Declividade máxima	0,69	0,42	0,48	0,86	0,57	0,41	0,66	0,73	0,85	m/m
Coefficiente de Compacidade	1,13	1,47	1,16	1,54	1,15	1,24	1,15	1,10	1,34	*
Densidade de Drenagem	0,85	0,94	1,30	0,88	1,00	0,93	0,54	0,53	1,15	Km/Km ²

Fonte: Autora, (2014).

Observa-se que a bacia incremental da seção Canadá é a maior, tendo uma área de 102,2 km² e recebendo contribuição das seções incrementais de Pacoti, Jordão e Califórnia. Na parte mais alta da bacia fica a seção Saco do Vento, com uma área equivalente a 17,47 km², e a seção Canabrava com 7,71 km².

As características da densidade de drenagem de todas as seções monitoradas apresentam drenagem regular, de acordo com Villela e Matos (1975), esse índice variou nas seções de 0,5 a 1,5 Km/Km², sendo considerados de drenagem regular.

4.3.2 Uso e ocupação do solo na área de estudo

Para a caracterização do uso e ocupação do solo na bacia do Acarape do Meio, foram selecionadas duas imagens de satélite LANDSAT, órbita 217, ponto 63, com projeção cartográfica UTM e Datum WGS 1984. Para o ano de 2004 selecionou-se uma imagem LANDSAT-5 com sensor TM, e para o ano de 2013 foi selecionada uma imagem do satélite LANDSAT-8 com o sensor OLI e TIRS. A imagem de 2004 foi obtida no período chuvoso e a de 2013 no período de estiagem. Ambas foram corrigidas geometricamente no software de processamento de imagens brasileiro SPRING.

Para a confecção dos mapas foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) da empresa americana ESRI. O software de processamento de imagens digitais ENVI foi utilizado para realizar a tarefa de separar em grupos temáticos de uso e ocupação do solo, os pixels das imagens orbitais da Bacia do Açude Acarape do Meio. Fez-se o uso de um algoritmo de classificação não-supervisionado para realização de tal tarefa.

As imagens foram baixadas do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a do Landsat-5 e a imagem do Landsat-8 foi baixada através do site do centro de pesquisa geológico dos Estados Unidos, United States Geological Survey (USGS), uma vez que o INPE ainda não disponibilizou as imagens desse satélite, (SOUSA, 2014). As imagens foram submetidas inicialmente a correções geométricas e atmosféricas, para só então, realizar as análises das imagens. A correção geométrica das imagens foi feita com o SPRING, para a correção atmosférica utilizou-se o ENVI e para a correção dos histogramas das imagens multitemporal foi usado o MATLAB.

Depois de realizadas as correções foram aplicadas o algoritmo de classificação ISODATA, algoritmo não supervisionado, ou seja, o usuário determina o número desejado de classes e o algoritmo faz a classificação agrupando em cada classe os pixels semelhantes.

A classificação das imagens de satélite gerou arquivos do tipo *raster*, os quais foram convertidos em vetor para o cálculo das áreas de cada classe de uso e ocupação dos solos da Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio e feitas as correções necessárias.

4.3.3 Procedimentos de amostragem e variáveis analisadas

Com a finalidade de se avaliar as características físicas, físico-químicas e microbiológicas das oito seções de monitoramento, foram realizadas quatro campanhas no período de março a junho de 2014. Durante esse período foram coletadas amostras em todas as seções com periodicidade mensal, sempre na última semana de cada mês.

As amostras de água foram coletadas em garrafas tipo pet, e garrafas de vidro de 1000 mL cor âmbar para as análises físico-químicas, todas previamente descontaminadas com ácido clorídrico 10% e identificadas, e para a análise microbiológica foram utilizados frascos de vidro, próprios para coleta, previamente autoclavados a uma temperatura de 121°C por quinze minutos.

Figura 12 – Processo de coleta nas seções Saco do Vento (esquerda) e Canabrava (direita).
Junho de 2014



Fonte: Autora, (2014).

Após as coletas, as amostras foram acondicionadas em isopor contendo gelo e tendo-se o cuidado para não comprometer as características originais das amostras até a chegada ao laboratório.

Ao chegar ao laboratório, de imediato eram realizadas as análises de coliformes termotolerantes e turbidez visto que as análises de pH, C.E temperatura e OD eram realizadas em campo. As amostras eram armazenadas em freezer a temperaturas abaixo de 4°C e, no dia seguinte, dava prosseguimento aos outros parâmetros, tendo sempre o cuidado de não deixar ultrapassar o tempo de realização das análises recomendados pelas literaturas.

Em todas as campanhas houve a necessidade de proceder à coleta com copos plástico ou béqueres em algumas seções, visto que a pequena lâmina d'água devido à escassez de chuvas no período impedia a imersão de garrafa para fazer o procedimento da coleta. No entanto, sempre se tomou o cuidado de enxaguar os frascos com a própria água do manancial, fazendo a tríplex lavagem antes da coleta. Na última coleta, em junho de 2014, as seções já apresentavam escoamento muito baixo, e a seção Calção já se encontrava completamente seca (Figura 14), impedindo a continuidade do monitoramento a partir de então.

Figura 13 - Seção Calção completamente seca na ocasião da coleta de junho, 2014



Fonte: Autora, (2014).

As variáveis analisadas foram definidas de acordo com a importância para a caracterização da qualidade físico-química e microbiológica das oito seções a serem monitoradas. As análises foram realizadas no laboratório de Química Analítica e Microbiologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFCE *Campus* Maracanaú.

As variáveis físico-químicas analisadas foram as seguintes: pH, condutividade elétrica (C.E), temperatura, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, sólidos totais (ST), turbidez, coliformes termotolerante (CTT). Os parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica e temperatura, foram quantificados em campo como recomenda a metodologia APHA, (2005).

pH: A determinação do pH foi realizada utilizando-se um pHmetro Instrutherm PH I-700, calibrado previamente com soluções padrão de 4,0, 7,0 e 9,0.

Temperatura e OD: A temperatura foi determinada em campo em °C, no momento da coleta, em conjunto com o oxigênio dissolvido, que por sua vez foi quantificado utilizando-se um oxímetro Instrutmerm M-O 900.

Demanda Bioquímica de Oxigênio a 20°C Durante 5 dias: O método para análise de DBO consiste em se encher com a amostra em análise, (diluída ou não), até seu transbordamento, um frasco de volume conhecido e que seja vedado de forma a não permitir a entrada de ar e incubá-lo sob uma temperatura de 20 °C durante 5 dias. A fixação do OD foi realizada utilizando sulfato manganoso e azida sódica e em seguida ácido sulfúrico PA. A titulação foi procedida utilizando tiosulfato de sódio a 0,025N. O oxigênio dissolvido é medido antes e depois da incubação e a DBO₅ é calculada a partir da diferença entre os dois valores, inicial e final.

Condutividade elétrica: As medidas de condutividade elétrica foram determinadas em campo, com o uso de condutivímetro portátil PHTEK, modelo CD-203 previamente calibrado. Os resultados foram expressos em µS/cm.

Turbidez: As concentrações de turbidez foram realizadas com o Turbidímetro digital microprocessado AP 2000 para análise em campo ou no laboratório. O princípio da medição é o nefelométrico, com faixa de medição de 0,00 - 1000 NTU.

Fósforo Total: Para a determinação desse parâmetro foi utilizado o método colorimétrico do ácido ascórbico, utilizando amostras digeridas com persulfato de amônio ((NH₄)₂S₂O₈), em autoclave com temperaturas variando entre 121 a 127°C durante 30 minutos. Os resultados foram expressos em mg/L.

Sólidos Totais: Os sólidos totais foram determinados de acordo com a NBR 10664, através do método gravimétrico, o qual se aplica para determinação de concentrações de 10 a 20000 mg/L de resíduo. Para quantificação desse parâmetro, primeiramente é necessário levar as cápsulas à estufa a uma temperatura de 105 °C por uma hora. Depois leva as cápsulas ao dessecador e após esse procedimento a mesma é pesada e levada ao banho-maria, adicionando 50 ml da amostra. Feito esse procedimento espera-se a evaporação completa da amostra até ficar só a parte sólida sedimentada. Depois da secagem, leva-se novamente à estufa por mais 1 hora, e após esse período faz-se a segunda pesagem, sendo o resultado dado pela diferença das pesagens dividida pelo volume da amostra.

Coliformes Termotolerantes: Para a determinação desse parâmetro foi utilizada a técnica dos tubos múltiplos, a qual consiste na inoculação de volumes decrescentes da amostra em meio de cultura A1 adequado ao crescimento dos microrganismos pesquisados, sendo cada volume inoculado em uma série de tubos.

O número mais provável de coliformes termotolerantes na amostra foi determinado utilizando-se os tubos múltiplos com concentrações de 10^1 , 10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} . Em seguida as amostras foram encaminhadas à estufa em uma temperatura de 35°C por 3 horas e, logo em seguida, colocada em banho-maria à temperatura de 42°C por mais 21 horas. Após esse período de 24 horas é feita a leitura e obtêm-se o resultado.

Os procedimentos analíticos foram realizados seguindo recomendações da APHA (2005).

4.3.4 Medição de Vazão e Cargas poluentes

Para os cálculos das descargas líquidas foram realizadas medições de vazões nas seções onde havia escoamento (Canadá, Pacoti e Jordão). As medidas foram executadas utilizando o micro molinete HIDROMEC. Foram realizadas duas medições de vazão na seção Canadá, uma na Jordão e duas na Pacoti, nas demais seções sem escoamento suficiente para as medições foi feito estimativas de vazão utilizando-se a equação de Manning, adotando-se o fator de rugosidade "n" de Manning conforme recomendações de (CHOW 1959).

Foram realizadas cinco campanhas, iniciando em março e seguindo até junho de 2014. As declividades dos trechos de rio de cada seção foram determinadas em campo. De posse das características geométricas da seção e da vazão no trecho, foi possível estimar os coeficientes de rugosidade pela Equação de Manning. Na Tabela 5 estão expostas todas as seções da Bacia do Acarape do Meio com as medidas de vazões realizadas ao longo dos meses de avaliação bem como os meses que foram, de fato, feito às medidas de vazão para cada seção. Vale ressaltar que não foi possível realizar mais medições de vazão em virtude da pequena lâmina d'água escoada em parte do período analisado. As medições de vazões estimadas e calculadas ($m^3.s^{-1}$) com o molinete estão inseridas na referida tabela.

Tabela 5 - Medidas de vazões nas seções monitoradas em 2014

Seções monitoradas	Vazões $m^3.s^{-1}$			
	Março	Abril	Maio	Junho
Calção	0,0176	0,16722	0,31158	0,07324
Canadá		0,3847	0,55057	0,22111
Pacoti	0,199	0,51985	0,47036	0,31634
Jordão	0,03808	0,04292	0,04448	*
Canabrava	0,01295	0,01295	*	*
Brenha	0,00106	*	*	*
Saco do Vento	*	0,04001	0,02025	*
Califórnia	0,51621	*	*	*

Fonte: Autora, (2014) * Não foi possível fazer medição de vazão.

A par dessas medições foi possível determinar o coeficiente de rugosidade de Manning (Equação 08) a partir das medidas das vazões e das características morfométricas das seções (Tabela 4). Para as seções em que não foi possível realizar as medições, os valores foram estimados a partir das características de cada seção. Por exemplo, a seção Canadá tem bastante rochas e na mesma foi possível calcular a vazão, então levando em consideração a semelhança entre as características desta com a seção Saco do Vento, para esta última, na qual não foi medida vazão alguma, adotou-se o mesmo coeficiente de rugosidade da seção Canadá.

Para as outras em que não foram realizadas medições, foi feito o mesmo procedimento, ou seja, comparações entre as características de cada seção e adotado o valor “n”, seguindo orientações de (CHOW 1959).

$$Q = \frac{A}{N} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (9)$$

Onde:

Q: Vazão (m³/s)

A: área da seção (m²)

R_h: Raio hidráulico (m)

S: Declividade (m/m)

Figura 14 - Medição de vazão seção Pacoti (abril) e Jordão (maio) [A, B], Medição de vazão seção Canadá (abril e maio) [C, D] e levantamento morfométrico [E, F] das seções



Fonte: Autora, (2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Evolução temporal da qualidade da água do Açude Acarape do Meio

O estudo para a identificação dos parâmetros mais importantes para a variabilidade da qualidade da água no ponto próximo ao barramento do açude Acarape do Meio se deu através de técnicas de estatística multivariada - Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento.

Os dados de qualidade da água do reservatório Acarape do Meio utilizados nesta etapa da pesquisa foram cedidos gentilmente pela COGERH e selecionados de um grande banco de dados onde foi realizado um trabalho minucioso até se identificar os parâmetros que tinha uma quantidade razoável de dados consistentes. No banco de dados existiam mais de oitenta parâmetros e vinte e dois mil e duzentos dados, sendo que desse total foram extraídas 832 medições de 22 parâmetros no período de outubro de 2004 a outubro de 2012 do ponto próximo ao barramento do reservatório Acarape do Meio. A escolha desse ponto se deu, primeiramente, por ser o ponto que dispunha da maior quantidade de dados, além de o mesmo se encontrar mais próximo da barragem, no local mais profundo do açude, Ribeiro (2007), e também por estar mais próximo da adutora que distribui a água para as localidades abastecidas pelo açude. Todos os parâmetros analisados são indicadores de qualidade de água de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005.

5.1.1 Análise das Componentes Principais

A Análise das Componentes Principais foi aplicada para se tentar identificar a importância de cada variável estudada na determinação da qualidade da água do açude Acarape do Meio, e quantas componentes seriam necessárias para explicar a variabilidade temporal da qualidade da água. A Tabela 6 apresenta a variância individual e acumulada das quatro componentes principais.

Tabela 6 - Variância das componentes principais da área em estudo

Componentes	Autovalores Iniciais		
	Autovalor (Variância)	Variância (%)	Variância Acumulada
1	3,29	36,57	36,57
2	1,62	18,02	54,58
3	1,391	15,46	70,05
4	1,19	13,18	83,23

Fonte: Autora, (2014).

As quatro componentes formadas explicaram 83,23% da variabilidade total dos dados. A primeira componente explica 36,56% da variabilidade dos dados e está associada a variáveis que indicam ações antrópicas, como, por exemplo, lançamento de efluentes e também uso de fertilizantes na agricultura, influência da poluição difusa, tais como escoamento superficial das áreas agrícolas com uso de fertilizante. Valores semelhantes foram encontrados por Andrade *et al.*, (2007) ao analisarem os fatores antrópicos e naturais que interferiram na qualidade da água na bacia do Baixo Acaraú, Ceará. Naquele estudo foram necessárias quatro componentes para explicar 82,1% da variância total dos dados em sete pontos ao longo do rio, em um conjunto inicial de 25 variáveis.

A comunalidade expressa a variância referente a cada variável, que pode ser explicada pelos fatores através da análise da componente principal. As comunalidades (Tabela 7) são representadas pela variância total explicada pelos fatores em cada variável. Por exemplo, a comunalidade do oxigênio dissolvido é obtida conforme (Equação 10) abaixo. As comunalidades iniciais são iguais a 1 e, após a extração, variam entre 0 e 1, sendo mais próximas de 0 quando os fatores comuns explicam baixa ou nenhuma variância da variável, (FÁVERO *et al.*, 2009). Na análise realizada, pode-se observar que a maioria dos parâmetros tem forte relação com os fatores, pois têm elevadas comunalidades.

$$C_{OD} = (C_1)^2 + (C_2)^2 + (C_3)^2 + (C_4)^2 \quad (10)$$

$$C_{OD} = (0,485)^2 + (0,300)^2 + (0,580)^2 + (0,391)^2$$

$$C_{OD} = 0,815$$

Analisando os dados das comunalidades e das componentes é possível concluir que 81% da variância contida no OD foram explicadas pelas quatro componentes que

compõem o modelo testado. Analisando-se a referida tabela, observa-se também que as variáveis que explicam a componente 1 têm os maiores valores de comunalidades, superiores a 0,8. A componente 2, com apenas uma variável significativa (condutividade elétrica – C.E.), também apresenta comunalidade maior que 0,8, isto é, 81,% da variância contida na CE foram explicadas pelas quatro componentes do modelo. Embora a condutividade elétrica não seja um parâmetro integrado do padrão de potabilidade brasileiro, constitui-se importante indicador de eventual lançamento de efluentes por relacionar-se à concentração de sólidos dissolvidos (LIBANIO, 2008). Valores altos dessa variável podem indicar que o manancial pode estar recebendo altas cargas de poluentes.

As outras duas componentes são formadas com maiores pesos por nitrogênio amoniacal (0,824) e fósforo total (0,684), explicando 77 e 78% respectivamente da variância total das duas variáveis.

Tabela 7 - Componentes principais e Comunalidades

Variáveis	Comunalidades	Componentes			
		1	2	3	4
Nitrogênio total	0,827	0,706	0,321	0,326	-0,343
Fósforo total	0,782	0,380	0,370	-0,181	0,684
OD	0,815	0,485	0,300	-0,580	-0,391
Clorofila a	0,804	0,853	-0,058	-0,257	-0,088
Ortofosfato solúvel	0,765	0,460	0,539	-0,051	0,510
Nitrogênio Amoniacal	0,774	-0,105	0,273	0,824	0,094
Cálcio	0,953	0,855	-0,392	0,259	0,020
Potássio	0,960	0,855	-0,397	0,268	0,000
Condutividade Elétrica	0,811	0,012	-0,782	-0,169	0,414

Fonte: Autora, (2014).

Portanto, das 22 variáveis analisadas, nove mostraram-se significativas na definição do modelo da análise de componentes principal. A extração da matriz de correlação permitiu a identificação da relação entre as variáveis, as quais podem mostrar a tendência geral dos dados, bem como as variáveis de maior significância para a proposta do estudo. A correlação entre as nove variáveis consideradas importantes na avaliação da

evolução temporal da qualidade da água do açude Acarape do Meio pode ser vista na (Tabela 8).

As correlações entre as variáveis, de acordo com Hair *et al.*, (2005) não devem ser menores que 0,30, pois valores abaixo desse limite podem ser indicativos de que os dados não se aplicam à técnica. Já Helena *et al.*, (2000) *apud* Andrade *et al.*, (2007) afirmam que se esse valor for maior que 0,5, as variáveis têm forte correlação, ou seja, quanto maior for o coeficiente de correlação maior será o fator de correlação entre as variáveis analisadas. Para melhorar a interpretação, na tabela a seguir, os valores acima de 0,3 estão em negrito.

Tabela 8 - Matriz de correlação das variáveis selecionadas na análise de componentes principais

Variáveis	Nitrogênio Total	Fósforo Total	OD	Clorofila	Ortofosfato Solúvel	Nitrogênio Amoniacal	Cálcio	Potássio	C.E
Nitrogênio Total	1,000	0,146	0,364	0,464	0,267	0,198	0,519	0,526	-0,354
Fósforo Total	0,146	1,000	0,183	0,204	0,511	-0,018	0,171	0,142	0,010
OD	0,364	0,183	1,000	0,554	0,148	-0,314	0,125	0,124	-0,177
Clorofila	0,464	0,204	0,554	1,000	0,377	-0,233	0,628	0,636	0,087
Ortofosfato Solúvel	0,267	0,511	0,148	0,377	1,000	0,058	0,168	0,165	-0,195
Nitrogênio Amoniacal	0,198	-0,018	-0,314	-0,233	0,058	1,000	-0,032	-0,023	-0,180
Cálcio	0,519	0,171	0,125	0,628	0,168	-0,032	1,000	0,994	0,208
Potássio	0,526	0,142	0,124	0,636	0,165	-0,023	0,994	1,000	0,208
C.E	-0,354	0,010	-0,177	-0,087	-0,195	-0,180	0,208	0,208	1,000

Fonte: Autora, (2014).

A Tabela 9 a seguir apresenta os valores máximos e mínimos das variáveis avaliadas, além da média e do desvio padrão no período de estudo (2004 a 2012) selecionadas de acordo com a análise de componentes principais bem como os valores limites estabelecidos pela Resolução Conama 357 para corpos d'água de classe I, II e III.

Tabela 9 - Estatística descritiva das variáveis representativas na estatística

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	D.P	Classe I	Classe II	Classe III
Nitrogênio total(mg/L)	0,06	2,62	0,57	0,62	*	*	*
Fósforo total (mg/L)	0,00	0,73	0,12	0,15	0,02	0,03	*
OD(mg/L)	0,00	15,00	2,97	3,54	6	5	4
Clorofila-a	1,85	121,66	30,29	32,19	10	30	60
C.E	0,19	0,450	0,34	0,05	*	*	*
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,00	0,90	0,20	0,18	2	2	5,6
Ortofosfato solúvel(mg/L)	0,00	1,31	0,15	0,29	*	*	*
Cálcio(mg/L)	9,2	38,9	14,71	6,00			
Potássio(mg/L)	9,2	38,9	14,69	5,97	*	*	*

Fonte: Autora, (2014). * Não estabelecido pelo Conama 357/2005.

O oxigênio dissolvido pode ser considerado o parâmetro mais importante na avaliação da qualidade de um corpo d'água, e sua concentração, em qualquer ponto, indicará a condição desta coleção hídrica em relação a eventuais lançamentos de cargas poluidoras, pontuais ou difusas (JORDÃO e PESSOA, 2011). O teor de OD é um dos melhores indicativos de equilíbrio de um ecossistema aquático.

O valores de oxigênio dissolvido observado no reservatório no período de 2004 a 2012 oscilaram bastante, obtendo valores de 0 mg.L^{-1} , sendo considerado nesse caso, um ambiente com características de anaerobiose e o máximo de 15 mg.L^{-1} , valor bastante alto (Tabela 11). Em média o OD no reservatório foi de $3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ mostrando que o reservatório, levando em consideração esse parâmetro, estaria com características de classe

III como pode ser visto Tabela 11. O fósforo também se mostra fora dos limites para classe II.

Analisando-se a Tabela 9, observa-se que os parâmetros considerados se mostram com grandes oscilações, com elevados valores de desvio padrão, levando a crer que a qualidade da água no reservatório em estudo oscila bastante. A clorofila, por exemplo, variou 32,19%, seguida do cálcio e potássio.

Na matriz de correlação (Tabela 8) o nitrogênio apresenta correlação moderada ($r = 0,464$) com a clorofila-a, indicando a importância da presença de nutrientes para esse parâmetro biológico. A significância do nitrogênio para explicar a evolução temporal da qualidade da água, indicada pela análise de componentes principais, pode ser atribuída ao lançamento de efluentes domésticos, principalmente os lançamentos de esgotos não tratados ou, se tratados, sem a remoção de nutrientes.

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos. São tidos como macronutrientes, quando descarregados nas águas naturais, juntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o mais fértil e possibilitando assim o crescimento em maior extensão dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas, acelerando o processo de eutrofização (PIVELI e KATO, 2006).

O tratamento inadequado dos efluentes domésticos pode explicar também a presença alterada do fósforo total. Para a Europa Central, por exemplo, calcula-se que cada habitante é responsável pela eliminação de 1,5 g de fosfato por dia através de seus dejetos e 2,7 g através de produtos de limpeza, (ESTEVEZ, 1998). O elevado teor de fósforo nas águas do Açude Acarape do Meio também pode ser explicado pela presença de atividades agrícolas na bacia, onde é comum o uso de fertilizantes químicos que contém em sua composição uma considerável proporção de fósforo, que é facilmente carregado pelas águas pluviais aos cursos d'água.

No caso dos efluentes domésticos, para se obter a remoção de nutrientes é necessário uma estação de tratamento de esgoto de nível terciário, o que infelizmente

inexiste na bacia, há apenas estações de tratamento de esgoto de nível secundário e, ainda, de forma precária.

De acordo com trabalho realizado por Lima (2007), o reservatório Acarape do Meio se mostrou hipereutrófico e supereutrófico nos anos de 2001 e 2002, tendo momentos pontuais de trofia. Já nos anos de 2004 e 2005 o autor encontrou sensível melhoria nesses parâmetros, terminando o biênio como oligotrófico e ultra-oligotrófico, em uma tendência de melhoria no seu estado trófico. No período de avaliação entre 2001 e 2002 as concentrações de fósforo não tiveram muitas oscilações, tendo os maiores valores no mês de janeiro e maio de 2002, aproximadamente 0,26 e 0,25 mg.L⁻¹ fósforo, respectivamente. Já nos anos de 2004 e 2005 os valores mostraram-se inferiores em relação aos anos anteriores, com média nos meses de abril e setembro de 2005, 0,04 e 0,12 mg.L⁻¹ fósforo respectivamente. Ressalta-se que o ano de 2004 apresentou pluviometria acima da média, o que pode ter contribuído para a renovação das águas do açude e, conseqüentemente, para a redução das concentrações de fósforo nos anos seguintes.

Os mesmos autores mostraram que a clorofila-a se mostrou bastante oscilante, tendo valores extremos com o máximo de 121,66 µg.L⁻¹ e a média de 30,29 µg.L⁻¹. Em maio de 2001, o reservatório se mostrava com um alto risco de eutrofização, próximo aos pontos ACA 07, 08 e 09, sendo a situação mais crítica nesta última, o que é preocupante dado que o ponto ACA 09 localiza-se próximo da tomada d'água do açude. Já em agosto de 2001, a qualidade da água se mostrava um pouco melhor, com risco de eutrofização baixo, segundo (LIMA, 2007). A possível causa para este estado é que, no mês de agosto, o volume armazenado estava próximo de sua capacidade máxima, em virtude do elevado aporte hídrico na estação chuvosa daquele ano, com precipitação anual de 1550,8 mm (FUNCEME, 2014). O autor ainda ressalta que nos pontos ACA 01, 02 e 03, que representam as aflúências ao reservatório, o risco de eutrofização era da ordem de 90%, o que pode ser atribuído à entrada considerável de nutriente dos efluentes das cidades a montante do reservatório.

A evolução do processo da eutrofização está relacionada diretamente com o uso e ocupação do solo na bacia contribuinte. Quando a bacia é ocupada com matas e florestas,

a concentração de nutrientes, como o fósforo, por exemplo, é baixa, bem como a concentração de algas, e o assoreamento é lento, sendo estas características de um ambiente em que não existe intervenção do homem. Nessas regiões, a capacidade de infiltração da água de chuva no solo é elevada. Em consequência, os nutrientes lixiviam pelo solo, onde são absorvidos pelas raízes das plantas, voltando a fazer parte da sua composição, e fechando, desta forma, o ciclo. Nestas condições, o corpo hídrico tende a apresentar baixos níveis de trofia, com reduzido aporte de nutrientes (VON SPERLING, 1996).

Já com a ocupação por agricultura tem-se o aumento da carga de fósforo e nitrogênio, advindo das práticas usuais de fertilizantes e o crescimento de vegetais, provocando o acúmulo desses nutrientes em mananciais e o aumento da concentração de algas. Com as práticas de cultivos ocorrem também o desmatamento das áreas para plantio e, conseqüentemente, a intensificação dos processos erosivos, acarretando mais problemas, como por exemplo, desmoronamento das encostas e diminuição do volume útil de reservatórios (VON SPERLING, 1996).

Além desses usos, na bacia do Acarape do Meio existe outro que também afeta a qualidade da água. A ocupação urbana também produz elevadas cargas de nutrientes, que em altas concentrações são prejudiciais aos corpos hídricos e, em conjunto com os outros usos do solo, formam um ambiente favorável ao crescimento de algas. Com o crescimento das algas nos mananciais, o processo de fotossíntese fica comprometido, o que ocasiona outros problemas como a diminuição do oxigênio dissolvido e a morte dos seres vivos mais exigentes.

Além dos problemas com a descarga de nutrientes, o lançamento de matéria orgânica a montante das seções de monitoramento também é elevado, como pode ser observado na (Figura 15). Segundo Von Sperling (1996), a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) são dois parâmetros de grande importância na qualidade de águas residuárias. O tratamento secundário, nível das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) na bacia em estudo, tem como principal objetivo a remoção de matéria orgânica, o que é efetuado através de reações bioquímicas, realizadas

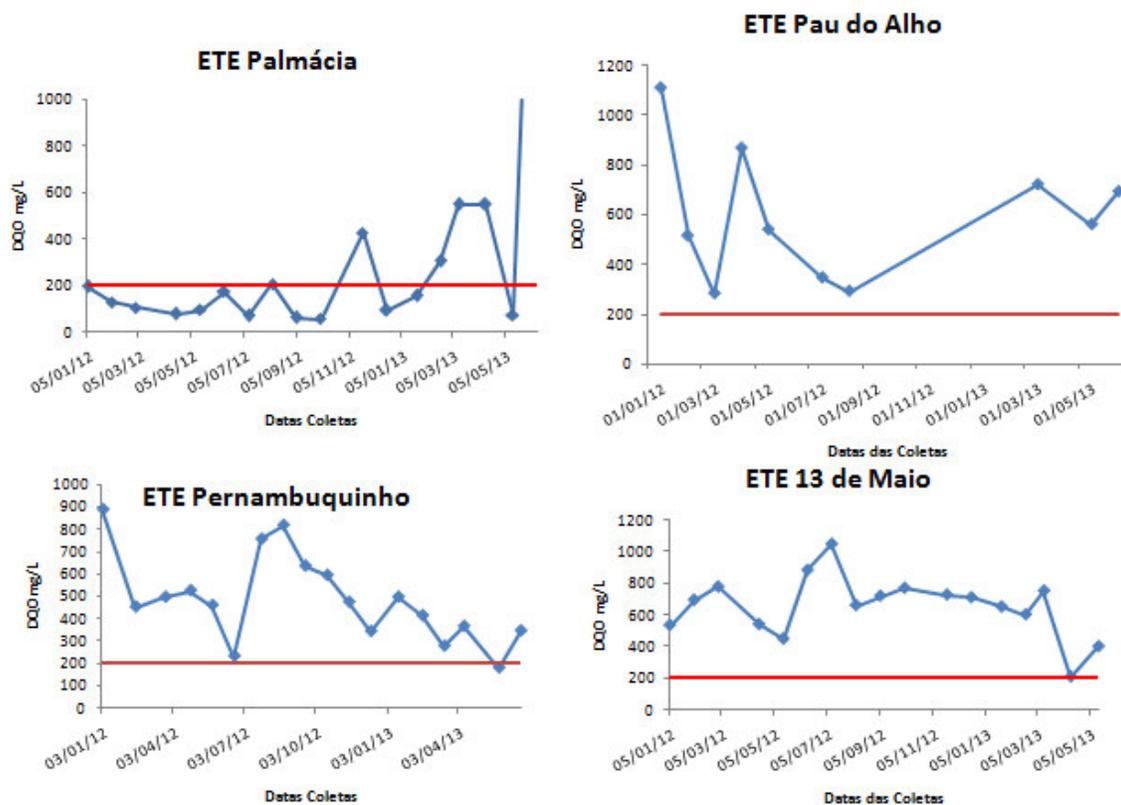
por microrganismos, ressaltando que para se obter um bom desempenho, a estação tem que ser bem operada.

Laudos emitidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE, 2013) indicam que as concentrações da demanda química de oxigênio (DQO) se encontram bastantes elevadas nos efluentes das ETEs (Figura 15), principalmente se levado em consideração que um dos objetivos desse tipo de sistema é a remoção de matéria orgânica. A partir dos valores encontrados em quatro ETE's pode-se observar que a estação de Palmácia se mostra mais eficiente na remoção de material orgânico. No entanto, estes sistemas têm dificuldades em produzir um efluente que se enquadre nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental (CHERNICHARO, 1997).

A Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) recomenda que a DQO não seja superior a 200 mg. L^{-1} . A título de comparação, a legislação Européia através da Deliberação n°. 91/27/EEC de 21/05/1991 (*Official Journal of the European Communities*, 1991), especifica a eficiência mínima de remoção e as concentrações de DBO_5 , DQO e sólidos em suspensão totais para os efluentes das estações de tratamento de efluentes urbanos, com as seguintes limitações: DBO_5 - 25 mg.L^{-1} com remoção mínima de 70-90%, DQO - 125 mg.L^{-1} com eficiência mínima de 75% e sólidos suspensos totais de 35 mg.L^{-1} com eficiência de 90% para população superior a 10.000 hab, 60 mg. L^{-1} com eficiência de 70% para população de 2.000 a 10.000 hab. e 150 mg. L^{-1} para efluentes de lagoa (VON SPERLING, 1996).

As estações Palmácia e Pernambuco apresentam tratamento biológico do tipo *up flow anaerobic sludge bed* (UASB), sistema que atende ao nível secundário removendo de 75 a 80% de material orgânico. A eficiência de remoção desse material depende basicamente de quatro fatores: (1) concentração e composição do material orgânico no afluente; (2) condições ambientais no reator; (3) massa de lodo anaeróbio e (4) contato entre o material orgânico afluente e o lodo no sistema (CAVALCANTI, 2009). A temperatura é de fundamental importância para a digestão anaeróbia, em baixas temperaturas a digestão anaeróbia pode ser comprometida, a temperatura ideal de acordo com a literatura utilizada, é acima de 35°C .

Figura 15 - Variação de DQO em quatro Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) da bacia do Açude Acarape do Meio e operadas pela CAGECE



Fonte: CAGECE, (2013).

Tratamento nas ETE's:

ETE Palmácia - Tratamento biológico - UASB

ETE Pacoti Pau do Alho - Tratamento biológico - Decanto Digestor / Filtro anaeróbio

ETE Pernambuco - Tratamento biológico - UASB

ETE Pacoti 13 de Maio - Tratamento biológico - Decanto Digestor / Filtro anaeróbio

O cálcio é um elemento comumente encontrado em águas naturais, que se origina de rochas calcárias e rochas contendo minerais ferro-magnésio. Esse parâmetro em elevadas concentrações, pode ser relativamente inofensivo ao organismo, (GARCIA e ALVES, 2006). Já o potássio também é encontrado e advindo de rochas, porém em baixas concentrações, o que não foi o caso, neste estudo os dois parâmetros tiveram uma boa correlação, ($r = 0,636$).

Lima (2005), afirma que os sais de potássio são usualmente usados na indústria e em fertilizantes para a agricultura, corroborando com informações coletadas em campo, onde os moradores, residentes na bacia em entrevistas realizadas em junho de 2013, relataram que usam fungicida e herbicida nas culturas para sanar as pragas. Os problemas decorrentes da utilização desses produtos químicos são a contaminação ambiental e o surgimento de ervas daninha, tornando-as mais resistentes, levando o agricultor a utilizar maiores quantidades e, conseqüentemente, causando maiores danos ao meio ambiente, principalmente, na contaminação dos corpos d'água e do lençol freático. Os agricultores da bacia do Açude Acarape do Meio relataram também que usam adubos químicos para as culturas de arroz, feijão, milho, mandioca e caju.

O potássio é incorporado a estruturas minerais e acumulado pela biota aquática, pois é um elemento nutricional essencial, GARCIA e BARRETO, (2009). Concentrações em águas naturais são usualmente menores que 10 mg.L^{-1} , o que difere das concentrações encontradas no reservatório em estudo. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental Cetesb, (1999), infere que concentrações elevadas, da ordem de 100 a 25.000 mg.L^{-1} podem indicar a ocorrência de fontes quentes e salmouras, respectivamente.

5.1.2 Análise de Sensibilidade

Na Análise de Componentes Principais, após a obtenção da matriz de correlação, desenvolve-se o teste de adequacidade para examinar se o modelo da ACP se aplica aos dados. Para esta averiguação é aplicado o teste de Kayser-Mayer-Olkin (KMO), proposto por (Kaiser 1974 *Apud* Norusis 1990), que confere a constância dos dados. Este índice compara as magnitudes dos coeficientes de correlação observadas com as magnitudes dos coeficientes de correlação parcial, produzindo um índice KMO (MONTEIRO e PINHEIRO, 2004 *Apud* GIRÃO, 2006). Valores baixos de KMO indicam que o modelo da análise de fator não deve ser utilizado. Os intervalos de teste realizados neste estudo podem ser vistos na (Tabela 12). O valor de KMO encontrado na análise adotada (Simulação 2) foi de 0,612, o que não rejeita o uso da técnica escolhida (ACP) e de

acordo com a (Tabela 04) é classificada como razoável, podendo ser utilizada sem restrições, ou seja, se esse valor for inferior a 0,5 indica que a técnica não está condizente com os dados.

Para a análise sensitiva foram realizadas diversas simulações em busca do resultado que melhor explicasse a variância dos dados. Das 22 variáveis analisadas apenas nove, (segunda simulação) foram necessárias para se obter um resultado satisfatório. Foram testadas diversas simulações, a primeira contendo todas as 22 variáveis, como pode ser visto na (Tabela 10). Na primeira simulação foram necessárias oito componentes para explicar 78,57% da variância total, e KMO foi de apenas 0,522. Outras simulações foram realizadas acrescentando-se variáveis (indicadas na Tabela 12 em cada nova simulação) em relação à simulação anterior e eliminando outras variáveis (indicadas na Tabela 12 por um sinal -, como por exemplo, na simulação oito, em que foi retirada (subtraída) a DBO em relação à simulação anterior). A escolha da segunda simulação como a opção mais adequada se deu pelo reduzido número de componentes (quatro) capazes de explicar um elevado percentual da variância total dos dados (83,3%), além de ter sido a simulação com valor de KMO mais adequado.

Tabela 10 - Simulações do teste de adequacidade para chegar a conclusão da análise

Simulação	Variáveis	KMO	Componentes (% variância)								Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	
1	22	0,522	21,57	12,83	11,2	9,105	6,931	6,225	5,672	5,053	78,58
2	Nitrogênio Total	0,612	36,568	18,02	15,46	13,18					83,232
	Fósforo Total										
	OD										
	Clorofila-a										
	Nitr. Amoniacal										
	C.E										
	Cálcio										
	Ortofosfato solúvel										
	Potássio										
	pH										
3	Nitratos	0,537	33,838	16,62	14,38	10,38					75,215
	Nitritos										
4	Turbidez	0,582	31,137	16,62	15,03	11,24					75,03
5	Cloretos	0,512	28,047	17,2	14,38	11,84					71,465
	Sólidos Dissolvidos										
6	- Cloretos	0,56	24,494	17,02	13,82	11,17	9,172				80,677
7	Dureza Total	0,575	27	14,65	12,34	9,775	8,896	7,262			79,921
	DBO										
8	Magnésio -(DBO)	0,542	25,389	15,74	13,38	11,05	9,6	7,423			82,585

Fonte: Autora, (2014).

Tabela 11 - Simulações do teste de adequacidade para chegar a conclusão da análise. Continuação ...

Simulação	Variáveis	KMO	Componentes (% variância)							
			1	2	3	4	5	6	7	8
9	Ferro -(DBO)	0,532	24,427	15,93	12,68	10,46	8,523	7,863	79,881	
10	Cloretos - (DBO)	0,533	22,989	14,99	11,93	9,91	7,955	7,698	75,471	
11	- Cloretos e sólidos	0,509	24,475	15,86	13,4	11,2	8,6		73,535	
12	- C.E	0,526	28,859	16,72	13,52	12,85	9,834		81,771	
13	DBO OD -(C.E)	0,565	27,274	15,04	14,04	11,4	8,736		76,49	

Fonte: Autora, (2014).

5.1.3 Análise de Agrupamento

O estudo da semelhança da qualidade da água do açude Acarape do Meio entre os anos de 2004 a 2012 se deu através de técnica de análise multivariada, a análise de agrupamento. A quantidade de grupos formados depende do grau de homogeneidade entre eles. O esquema obtido do modelo de agrupamento aplicado neste estudo pode ser visto na Tabela 11. Nesta tabela podem ser observados todos os grupos formados a partir da análise de agrupamento utilizando o método hierárquico.

Tabela 12 - Esquema de aglomeração da análise hierárquica de agrupamento pelo método Ward

Número de agrupamento	Agrupamento Combinado		Coeficientes	Variação % para o próximo nível
	Agrupamento 1	Agrupamento 2		
36	36	37	288,000	
35	34	35	214,391	25,559
34	32	33	173,104	19,257
33	32	34	140,620	18,766
32	30	31	115,479	17,879
31	27	29	96,280	16,625
30	26	28	79,823	17,093
29	26	30	67,144	15,884
28	26	27	56,264	16,205
27	26	32	48,234	14,272
26	20	21	40,324	16,399
25	20	24	35,212	12,676
24	14	15	30,240	14,120
23	14	22	25,785	14,733
22	12	23	22,018	14,608
21	9	12	19,457	11,634
20	9	10	17,114	12,040
19	5	7	14,967	12,547
18	5	14	13,111	12,401
17	5	18	11,352	13,410
16	4	8	9,713	14,438
15	3	11	8,487	12,630

Tabela 13 - Esquema de aglomeração da análise hierárquica de agrupamento pelo método Ward. Continuação ...

Número de agrupamento	Agrupamento Combinado		Coeficientes	Variação % para o próximo nível
	Agrupamento 1	Agrupamento 2		
14	3	13	7,304	13,937
13	3	16	6,295	13,809
12	3	17	5,318	15,522
11	3	9	4,414	17,001
10	3	5	3,568	19,157
9	3	20	2,780	22,103
8	2	25	2,257	18,796
7	2	19	1,740	22,924
6	2	6	1,322	23,998
5	2	3	0,937	29,145
4	2	4	0,599	36,023
3	1	26	0,365	39,153
2	1	36	0,198	45,740
1	1	2	0,098	50,315

Fonte: Autora, (2014).

Neste estudo se tomou como base para a formação do número de grupos, a variação percentual entre os coeficientes de dois agrupamentos consecutivos (Tabela 12). Analisando a referida tabela pode-se perceber que a maior variação entre os coeficientes foi de 36,0%, a qual ocorreu na passagem de 5 para 4 grupos, indicando que o número de cluster adequado seria quatro agrupamentos.

A Figura 16 apresenta o dendrograma, o qual identifica a formação de cada cluster. Analisando-se a referida figura e considerando a formação dos quatro grupos, observa-se que o ponto ótimo de corte corresponde ao ponto entre 10 e 12 na distância reescalada, visto que foi neste ponto onde ocorreu o salto de cinco grupos para quatro, como mostra a Tabela 14. Segundo a literatura o ponto de corte se dá quando ocorre a primeira maior variação em percentual no coeficiente para o próximo nível. Como pode ser observado na referida Tabela este salto se deu de (29,145) cinco grupos para (36,023) quatro grupos.

Tabela 14 - Número de agrupamentos formados

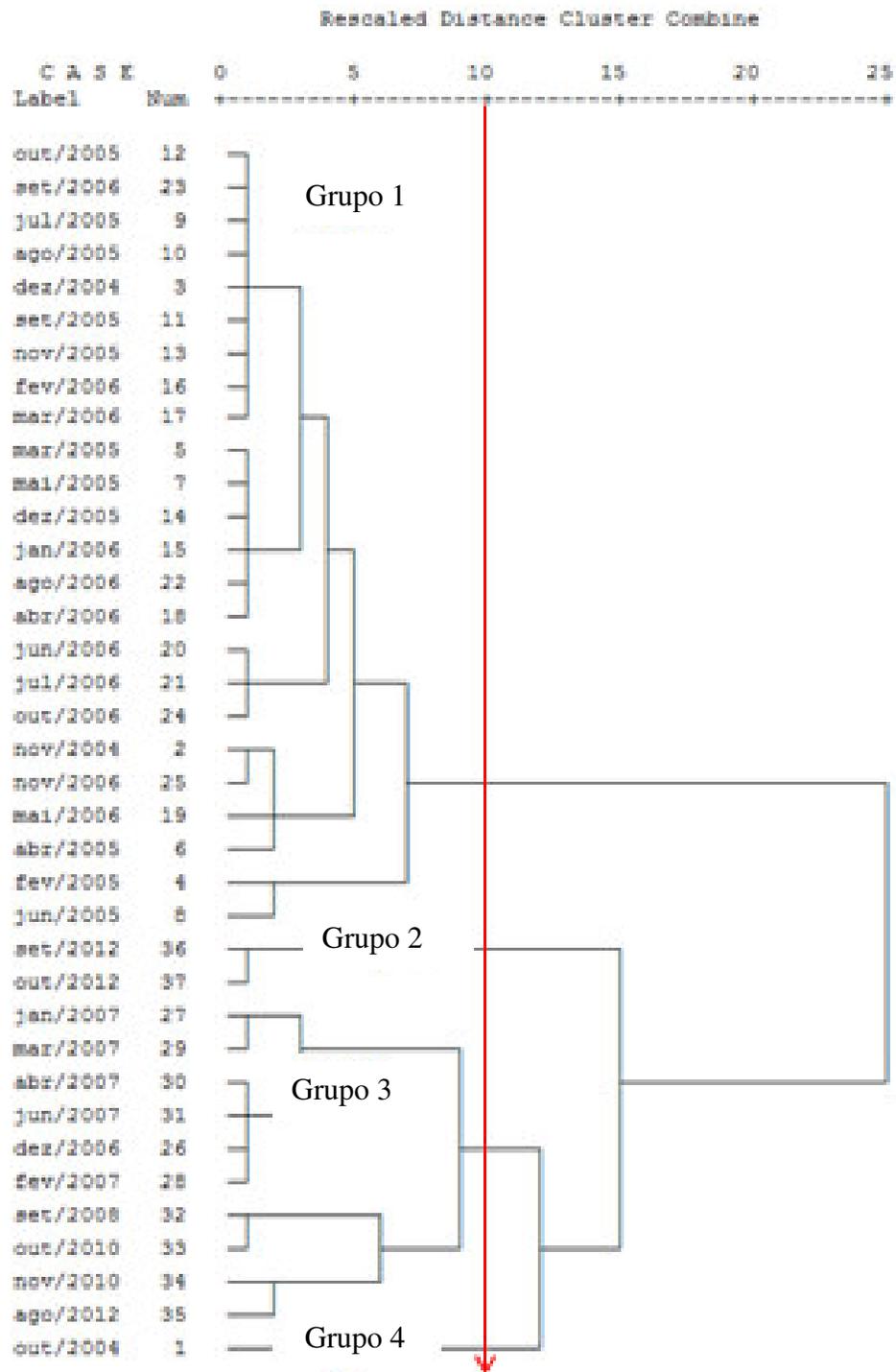
Número de Agrupamentos	Agrupamento combinado		Coeficiente	Variação percentual no coeficiente para o próximo nível
	Agrupamento 1	Agrupamento 2		
36	36	37	288,000	
7	2	19	1,740	22,923
6	2	6	1,322	23,997
5	2	3	0,937	29,145
4	2	4	0,599	36,023
3	1	26	0,365	39,153
2	1	36	0,198	45,739
1	1	2	0,098	50,315

Fonte: Autora, (2014).

O dendrograma mostra o comportamento da qualidade da água nos anos em estudo. Observa-se que o grupo um contempla os anos de 2004, 2005 e 2006, sendo essa homogeneidade indicativa de que nesses anos a qualidade da água estava com características semelhantes. No grupo dois observa-se um salto no dendrograma, tendo se mostrado mais heterogêneo e ficando somente com os meses de setembro e outubro de 2012, ou seja, nesses dois meses as variáveis analisadas apresentaram maiores semelhanças. O grupo três compreende o ano de 2007 nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, junho e dezembro se mostraram bem semelhantes, enquanto que setembro de 2008, outubro de 2010, novembro de 2010 e agosto de 2012 apresentaram uma distância maior em relação aos anteriores. No último grupo, o mês de outubro 2004 se apresenta isolado, levando a crer que nesse período a qualidade da água teve uma variação bastante considerada para provocar esse distanciamento.

A Figura 16 mostra que no período de 2004 a 2012 ocorreu uma alteração na qualidade da água no decorrer do período estudado e que os grupos foram formados em anos consecutivos. Esse fato pode ser atribuído às alterações que foram ocorrendo em cada ano, demonstrando a degradação da qualidade da água percebido de maneira subjetiva pelos usuários dessa água e também pelo órgão gerenciador, COGERH.

Figura 16 - Dendrograma



Fonte: Autora, (2014).

5.2 Relação entre uso e ocupação do solo e a qualidade da água do Açude Acarape do Meio

De acordo com trabalho realizado por Sousa (2014), houve grandes mudanças na bacia do Acarape do Meio relacionadas ao uso e ocupação do solo no decorrer das últimas décadas. Como pode ser observado na Figura 17 percebe-se claramente a diferença da imagem "A" que foi obtida no dia 20/07/1985 para a imagem "B" mais atual, datada de 04/08/2012. Essa diferença também é nítida no dendrograma (Figura 16), no qual se pode perceber que, com o passar dos anos, a qualidade da água teve um mudança, representada através do gráfico (dendrograma). Isso pode estar associado aos diversos usos do solo, como pode ser visto na Tabela 19, na qual se observa que houve mudança nas classes de uso e ocupação do solo, principalmente na classe de vegetação antropizada e cultivos agrícolas. Esses fatores podem ser relacionados com a qualidade da água, uma vez que, ao realizar atividades agrícolas, estão modificando as características do solo e com as plantações podem utilizar algum tipo de fertilizante e conseqüentemente, esses resíduos podem chegar até o reservatório e causar danos.

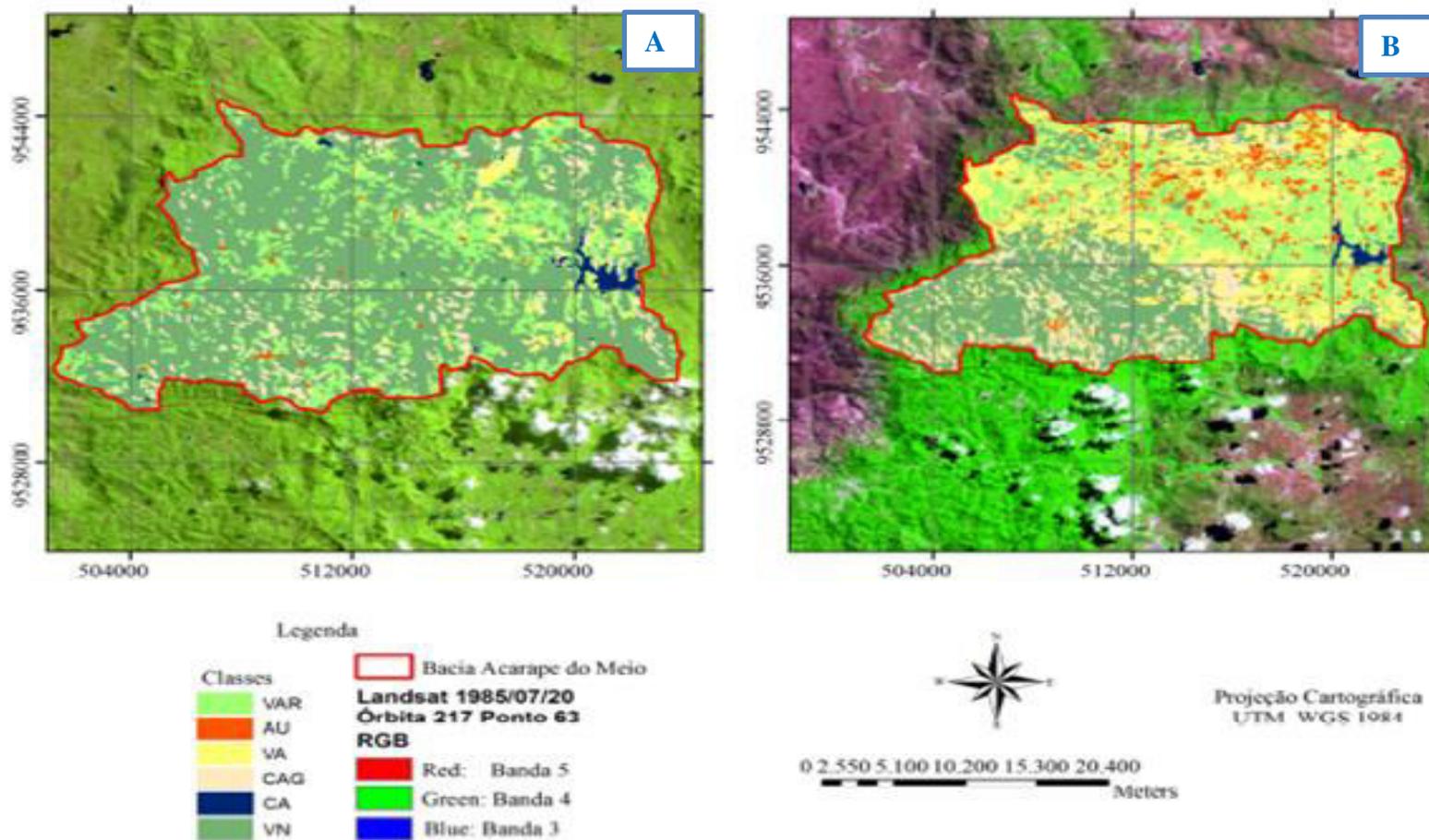
Analisando-se as Figuras 18 e 19 observa-se com mais clareza que a vegetação antropizada teve um acréscimo bastante considerável do ano de 1985 para 2013. No ano de 1985 a área antropizada era de aproximadamente 25 km². Em 1997 verificou-se crescimento da mesma, e decrescendo em 1998 e retomando o crescimento até então. Outra variável que cresceu no período a vegetação antropizada foi a área de cultivos agrícolas, podendo-se dizer que o processo de expansão dessas duas áreas ocorreu de forma proporcional.

Com relação às áreas de cultivo, o que se observou em campo foram plantações em áreas de preservação, nas encostas do reservatório, favorecendo a erosão e o transporte de sedimento. Ainda de acordo com Sousa (2014), outra variável que teve redução foi a vegetação arbustiva. Esta teve um decréscimo de 11% e a bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio apresentou um decréscimo significativo das regiões da mata nativa do período de 1985 a 2013 de aproximadamente 50%. As variáveis área urbana e os corpos

d'água não apresentaram muita variação durante esses anos. A primeira variável teve um crescimento mais significativo a partir de 2008.

Esses usos refletem também na qualidade da água do reservatório em estudo. Avaliando-se, conjuntamente, os dados de uso e ocupação do solo com o dendrograma da Figura 16, observa-se que houve uma diferença entre os grupos formados, podendo ser correlacionado com o uso do solo. Analisando-se com um olhar mais atento, pode-se perceber que os anos de 2004, 2005 e 2006 estão apresentando mais semelhanças entre eles, exceto o mês de outubro de 2004 (grupo 4) e 2006 (grupo 3), os anos anteriores a 2006 estão em um mesmo grupo. Nestes três anos a qualidade da água do reservatório está com características similares entre si e distintas dos demais anos analisados. Vale mencionar que o período de 2004 a 2006 apresentou estabilização quanto ao uso e ocupação do solo, como pode ser observado nas Figuras 18 e 19.

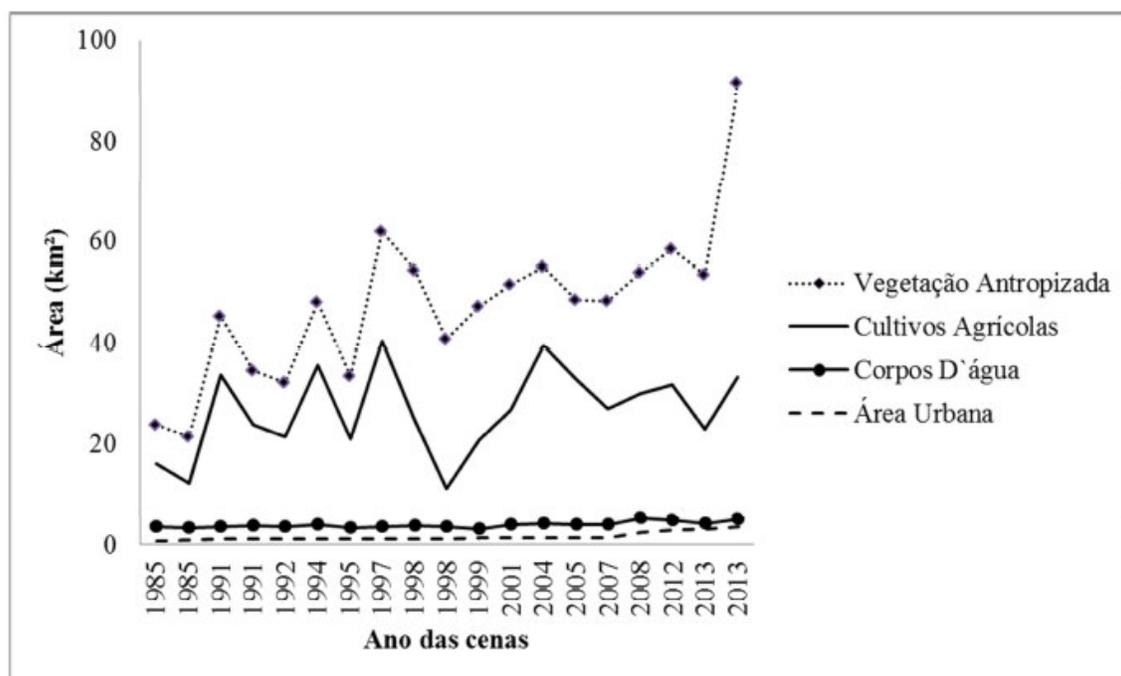
Figura 17 - Mapas de uso e ocupação do solo na bacia do Acarape do Meio de acordo com classificação de imagens satélites. A) Imagem de 20/07/1985 de órbita 217 ponto 63 do Landsat 5; B) Imagem do dia 04/08/2012 de órbita 334 ponto 97 do satélite IRS p6. Classes de uso e ocupação do solo: vegetação antropizada (VA), cultivos agrícolas (CAG), corpos d'água (CA), área urbana (AU), vegetação arbustiva (VAR), vegetação nativa (VNA)



Fonte: Sousa, (2014).

Avaliando separadamente os anos de 1998, 2004 e 2012 para a variável de cultivos agrícolas (Figura 18) observa-se que em 1998 teve um decaimento considerado em relação aos anos anteriores, neste ano choveu um total de 820 mm, enquanto que a média anual é de aproximadamente 1.400 mm, podendo esse decréscimo estar relacionado ao fato de que nesse período houve precipitações abaixo de média histórica e não teve atividade agrícola como vinha tendo nos anos anteriores. Já em 2004 esse processo foi superado, podendo ser atribuído aos altos índices pluviométricos, em média de 2.030 mm e em 2012 novamente voltou a ter um decaimento, podendo-se dizer que os cultivos agrícolas aumentam ou diminuem de acordo com as precipitações, visto que na bacia não é muito utilizado a prática de irrigação.

Figura 18 - Evolução temporal das classes de uso e ocupação do solo: vegetação antropizada (VA), cultivos agrícolas (CAG), corpos d'água (CA), área urbana (AU)

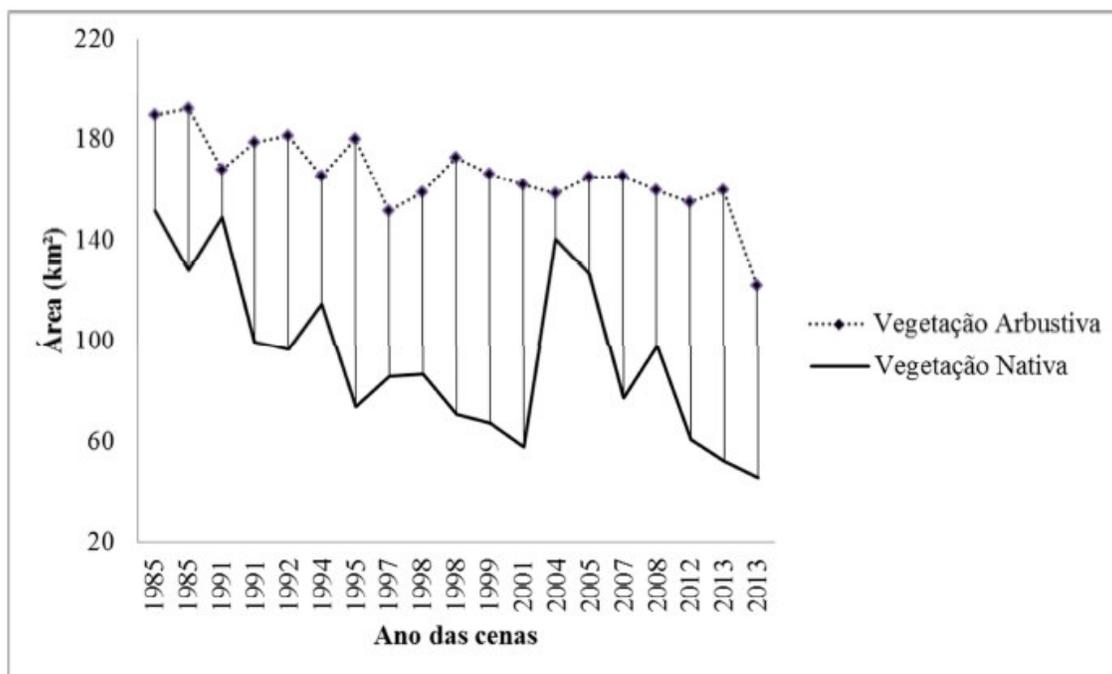


Fonte: Sousa (2014).

De acordo com trabalho realizado por Sousa (2014), as classes de vegetação nativa e arbustiva ilustram a variabilidades que ocorrem na Caatinga. Como pode ser observado na Figura 19, ocorre um processo inverso, ou seja, quando a vegetação nativa

decrece a arbustiva passa a ocupar essas áreas. Vale ressaltar que essa variabilidade, tão característica do semiárido brasileiro é menos evidente quando as áreas referentes às classes de uso e ocupação do solo da bacia são plotadas de acordo com a estação do ano ao qual pertencem. Nos períodos de estiagem as folhas das árvores caem, justificando essa oscilação.

Figura 19 – Evolução temporal das classes de uso e ocupação do solo: vegetação arbustiva (VAR), vegetação nativa (VNA)



Fonte: Sousa (2014).

5.3 Caracterização das Seções de Monitoramento

Os parâmetros de qualidade da água das oito seções de monitoramento da bacia do Acarape do Meio, analisados neste trabalho, estão relacionadas na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005 que "dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes" (CONAMA, 2005). Os dados obtidos nas seções foram comparados com a referida resolução, a fim de se avaliar a qualidade da água das seções supracitadas.

Nesta etapa da pesquisa foram analisados oito parâmetros para se fazer a caracterização das seções de monitoramento: potencial hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo total (Pt), Turbidez (TURB), Condutividade Elétrica (C.E), Temperatura (Temp), Coliformes Termotolerantes (CTT) e Sólidos Totais (ST).

Os resultados obtidos em cada seção de monitoramento estão apresentados em gráficos e tabelas a seguir, de modo que se tenha uma ideia geral da qualidade da água de cada seção.

Tabela 15 - Estatística descritiva das variáveis amostradas mensalmente nas oito seções de monitoramento (março a junho/2014).

Parâmetro	Seções	N.A	Méd	Máx	Mín	C.V	D.P	Amp
Temperatura (°C)	Calção	3	25,90	26,10	25,80	0,01	0,15	0,30
	Brenha	4	27,05	28,80	25,40	0,05	1,46	3,40
	Pacoti	4	23,95	25,80	23,50	0,04	1,03	2,30
	Jordão	5	23,70	25,40	22,27	0,06	1,38	3,13
	Canabrava	4	26,10	28,00	24,70	0,06	1,63	3,30
	California	3	24,57	26,10	23,10	0,06	1,50	3,00
	Saco do vento	3	26,43	26,70	26,09	0,01	0,31	0,61
	Canadá	3	27,67	28,40	27,20	0,02	0,64	1,20
OD (mg. l ⁻¹)	Calção	3	7,30	7,50	5,00	0,19	1,39	2,50
	Brenha	4	4,55	5,50	3,00	0,23	1,06	2,50
	Pacoti	4	1,65	3,30	1,40	0,53	0,88	1,90
	Jordão	5	3,60	4,30	2,50	0,19	0,69	1,80
	Canabrava	4	3,90	6,90	3,50	0,41	1,59	3,40
	California	3	4,50	4,80	4,00	0,10	0,44	0,80
	Saco do vento	3	5,67	6,50	4,00	0,25	1,44	2,50
	Canadá	3	6,43	6,90	6,10	0,06	0,42	0,80
DBO (mg. l ⁻¹)	Calção	3	26,80	38,20	23,60	0,29	7,67	14,60
	Brenha	4	23,45	32,44	21,60	0,21	4,96	10,84
	Pacoti	4	25,25	50,60	16,65	0,58	14,69	33,95
	Jordão	5	15,10	45,50	10,80	1,02	15,44	34,70
	Canabrava	4	34,90	47,30	28,30	0,23	8,10	19,00
	California	3	15,43	20,00	12,60	0,26	3,99	7,40
	Saco do vento	3	35,22	68,55	14,30	0,83	29,18	54,25
	Canadá	3	28,42	44,75	18,10	0,50	14,31	26,65
pH (-)	Calção	3	8,00	8,80	7,44	0,09	0,68	1,36
	Brenha	4	7,85	8,10	7,44	0,04	0,30	0,66
	Pacoti	4	7,45	7,80	7,37	0,03	0,20	0,43
	Jordão	5	7,70	8,00	7,27	0,03	0,27	0,73
	Canabrava	4	7,79	8,20	7,60	0,03	0,26	0,60
	California	3	7,31	7,50	7,14	0,02	0,18	0,36
	Saco do vento	3	8,02	8,20	7,80	0,03	0,20	0,40
	Canadá	3	8,10	8,20	7,90	0,02	0,17	0,30

Tabela 13 - Estatística descritiva das variáveis amostradas mensalmente nas oito seções de monitoramento (março a junho/2014). Continuação ...

Parâmetro	Seções	N.A	Méd	Máx	Mín	C.V	D.P	Amp
Fósforo (mg. L ⁻¹)	Calção	3	0,15	0,30	0,02	0,95	0,14	0,28
	Brenha	4	0,16	0,22	0,04	0,50	0,08	0,19
	Pacoti	4	0,37	0,96	0,14	1,03	0,38	0,82
	Jordão	5	0,15	0,17	0,01	0,45	0,07	0,16
	Canabrava	4	0,38	0,53	0,03	0,60	0,23	0,50
	California	3	0,05	0,10	0,01	0,86	0,05	0,09
	Saco do vento	3	0,11	0,18	0,01	0,82	0,09	0,17
	Canadá	3	0,09	0,15	0,01	0,78	0,07	26,65
Turbidez (NTU)	Calção	3	131,00	142,00	115,00	0,10	13,58	27,00
	Brenha	4	106,00	126,00	41,20	0,35	37,28	84,80
	Pacoti	4	29,00	30,40	23,60	0,59	17,08	6,80
	Jordão	5	24,60	38,90	16,20	0,39	9,65	22,70
	Canabrava	4	29,75	48,30	22,00	0,38	11,27	26,30
	California	3	31,10	40,40	24,00	0,27	8,42	16,40
	Saco do vento	3	33,50	61,00	16,50	0,72	24,04	44,50
	Canadá	3	35,30	43,90	22,00	0,33	11,68	21,90
Sólidos Totais (mg. L ⁻¹)	Calção	3	308,00	430,00	158,00	0,44	136,24	272,00
	Brenha	4	264,00	328,00	146,00	0,29	75,92	182,00
	Pacoti	4	343,00	384,00	255,00	0,22	75,29	129,00
	Jordão	5	250,00	410,00	152,00	0,40	99,52	258,00
	Canabrava	4	534,00	748,00	504,00	0,21	112,90	244,00
	California	3	368,00	516,00	292,00	0,35	128,19	224,00
	Saco do vento	3	339,33	454,00	230,00	0,33	112,10	224,00
	Canadá	3	228,67	340,00	132,00	0,46	104,77	208,00
CTT (NMP/100 ml)	Calção	3	9000	9000	900	0,52	4677	8100
	Brenha	4	26000	132000	8000	2,18	56733	124000
	Pacoti	4	275000	500000	30000	1,51	414648	470000
	Jordão	5	500	900	300	0,46	228	600
	Canabrava	4	18500	30000	9000	0,52	9695	21000
	California	3	3977	9000	130	1,14	4551	8870
	Saco do vento	3	4760	9000	280	0,92	4365	8720
	Canadá	3	23333	50000	3000	1,03	24131	47000

Tabela 13 - Estatística descritiva das variáveis amostradas mensalmente nas oito seções de monitoramento (março a junho/2014). Conclusão

Parâmetro	Seções	N.A	Méd	Máx	Mín	C.V	D.P	Amp
C.E ($\mu\text{S. cm}^{-1}$)	Calção	3	171,00	182,00	160,00	0,06	11,00	22,00
	Brenha	4	204,50	282,00	38,00	0,51	104,96	244,00
	Pacoti	4	320,00	365,00	32,00	0,49	156,43	333,00
	Jordão	5	271,00	273,00	18,00	0,41	110,20	255,00
	Canabrava	4	630,00	638,00	116,00	0,47	299,09	522,00
	Califórnia	3	191,67	285,00	8,00	0,83	159,07	277,00
	Saco do vento	3	346,67	480,00	210,00	0,39	135,03	270,00
	Canadá	3	220,00	290,00	150,00	0,45	98,99	140,00

N.A - Número de análises; Amp - Amplitude; Mín - Mínimo; Máx - Máximo; C.V – Coefic. variação; D.P - Desvio Padrão; Méd- Média.

Fonte: Autora, (2014).

FÓSFORO TOTAL

Durante os meses de acompanhamento da qualidade de água nas seções em estudo podem-se observar através da Tabela 14 que a carga de fósforo se encontra elevadas, levando em consideração que esses mananciais estão alimentando diretamente o reservatório Acarape do Meio, o qual abastece diversos municípios da região metropolitana, indicando a necessidade de investimento para tratamento adequado dos efluentes lançados na bacia. Dentre as oito seções, a de maior carga é a seção Pacoti, tendo uma carga máxima de 43,119 kg. dia, que se encontra próxima a uma estação de tratamento de efluentes, a qual não é projetada para remoção de nutrientes.

Outras três seções que também obtiveram valores elevados, porém bem inferiores aos da seção Pacoti, foi às seções Canadá (3, 357 kg. dia), essa seção fica próxima a um povoado e que também já vem recebendo contribuição das seções Pacoti, Jordão e Califórnia, e que também durante as coletas foi percebido o lançamento de água provinda de atividades domésticas, seção Calção (4,378 kg.dia) e Califórnia (4,505 kg.dia). A seção calção fica bem próxima ao reservatório, onde a mesma só recebe contribuição da zona rural. A seção Califórnia fica localizada entre a cidade de Pacoti e Guaramiranga,

podendo ter contribuição de alguma forma, porém fica em zona rural também com algumas residências próximas, o que pode corroborar com essa elevada carga de nutrientes.

Tabela 16 - Cargas de nutrientes

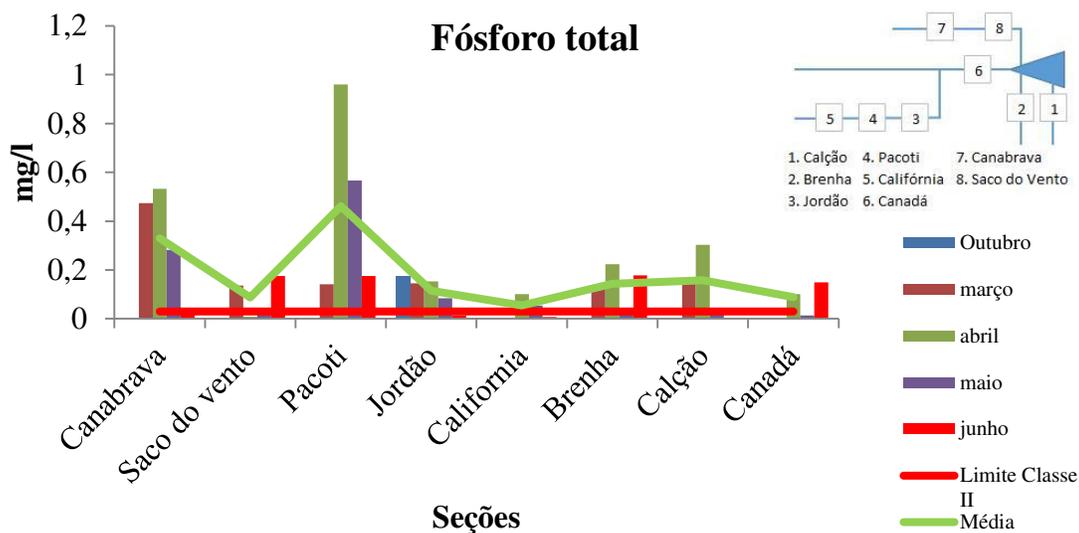
Meses	Cargas de Fósforo (kg/dia)							
	Canadá	Calção	Brenha	Saco do Vento	Califórnia	Pacoti	Canabrava	Jordão
Outubro	*	*	*	*	*	*	*	0,314
Março		0,224	0,012	0,470	4,505	2,441	0,530	0,480
Abril	3,357	4,378	0,020	0,014	2,408	43,119	0,596	0,567
Maió	0,666	0,619	0,003	0,051	0,329	23,043	0,316	0,321
Junho	2,846	0,993	0,016	0,306	*	4,808	0,035	0,321
Máximo	3,357	4,378	0,020	0,470	4,505	43,119	0,596	0,567

Fonte: Autora, (2014). * Não foi possível realizar coleta.

As Figuras 20 e 21 apresentam as concentrações e cargas de fósforo nas seções de monitoramento. Durante o período de estudo, a maioria das concentrações medidas se encontraram fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA 357/2005, que estabelece que o fósforo não ultrapasse 0,03 mg.L⁻¹ para corpos d'água de classe II. Como já citado, a seção Pacoti é a que mais está em desconformidade com a legislação, sendo esta considerada um problema a ser analisado junto aos órgãos responsáveis.

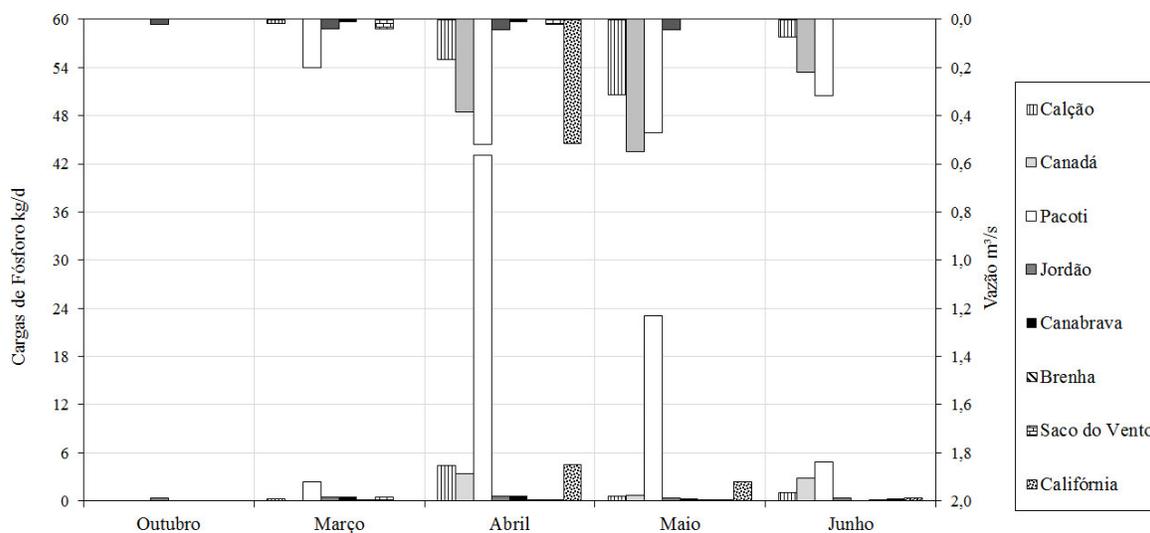
As referidas figuras indicam ainda que a qualidade da água é bastante oscilante a cada mês de observação. O mês de abril se mostra mais distintos dos demais, sendo um fator negativo, principalmente na seção Pacoti, pela alta concentração de nutrientes encontrado em todas as campanhas realizadas, seguido de maio e junho. Um fator que pode ser atribuído a essa distinção é a pequena vazão encontrada nessa seção, visto que a mesma é praticamente alimentada pelo efluente proveniente de uma ETE a montante. Como pode ser observado pelo traçado da linha (vermelha), praticamente todos os valores estão acima do limite permitido pela Resolução 357/2005 do Conama.

Figura 20 - Concentrações de fósforo total nas seções de monitoramento



Fonte: Autora, (2014).

Figura 21 - Carga de fósforo total nas seções de monitoramento



Fonte: Autora, (2014).

Um fato que merece destaque é que, devido à escassez de chuvas no período de monitoramento, as cargas produzidas nas seções de montante muitas vezes não chegavam a atingir as seções de jusante, seja por interrupção do escoamento ou por deposição /

absorção pelas plantas. Isso pode ser observado, por exemplo, nas seções Pacoti e Jordão, na qual a primeira (situada a montante) apresenta cargas de fósforo duas ordens de grandeza superior à segunda seção (situada a jusante).

Ribeiro (2007), avaliando a qualidade da água em oito pontos no reservatório Acarape do Meio, observou que o fósforo no ponto ACA01 (ver Figura 9), o qual recebe principalmente contribuições de áreas rurais (plantações de banana, arroz, feijão e milho, além de criação de animais como porco e gado), teve comportamento semelhante ao encontrado nas seções de monitoramento, ou seja, se encontrava bastante oscilante no decorrer da pesquisa.

Ainda de acordo com o autor supracitado, no período das análises (2006) no reservatório observou-se um hipolímnio (parte mais profunda do reservatório) rico em fósforo total e ortofosfato solúvel. No período de 2001 a 2005, no ponto ACA02 do referido reservatório os valores de fósforo também se mostraram bastante elevados. Esse ponto recebe contribuição proveniente do Rio Pacoti com forte influência urbana das cidades de Guaramiranga e Pacoti, onde está localizada uma das seções de monitoramento do trabalho em estudo e que se mostra, como já mencionado anteriormente, preocupante com relação às altas cargas de fósforo lançadas no rio Pacoti.

De acordo com estudos realizados pela Cogerh (2008), através do Inventário Ambiental, foram determinadas e definidas as cargas de nutrientes a partir de levantamentos das principais fontes de poluição difusa e pontual. Nesta oportunidade foram levantadas as fontes de contribuição de poluentes. De acordo com o estudo o esgoto se mostrou como o principal responsável pela baixa qualidade da água. Essas cargas pontuais e difusas foram calculadas a partir da contabilização das áreas de influências da Bacia do Acarape do Meio, em relação à concentração dos nutrientes medidos em laboratórios. Sharpley e Rekolainen (1997) e Rekolainen *et al.* (1997) *Apud* Toledo e Nicolella (2002), indicam que o aporte de fósforo para os recursos hídricos tem como agente principal o uso urbano seguido pelo uso agrícola.

Tabela 17 - Estimativa das emissões de poluentes pontuais e difusas de acordo com COGERH (2008) na Bacia Hidrográfica do Acarape do Meio

Fontes Contribuinte		N		P	
		ton/ano	%	ton/ano	%
Difusa	Pecuária	1,06	9,4	1,34	23,98
	Pecuária outros	0,62	5,47	1,07	19,05
	Agricultura	0	0	0	0
Pontual	Solos	0,79	7,05	0,22	3,96
	Esgoto	8,81	78,05	2,99	53
Total		11,28	100	5,64	100

Fonte: COGERH, (2008).

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO – DBO

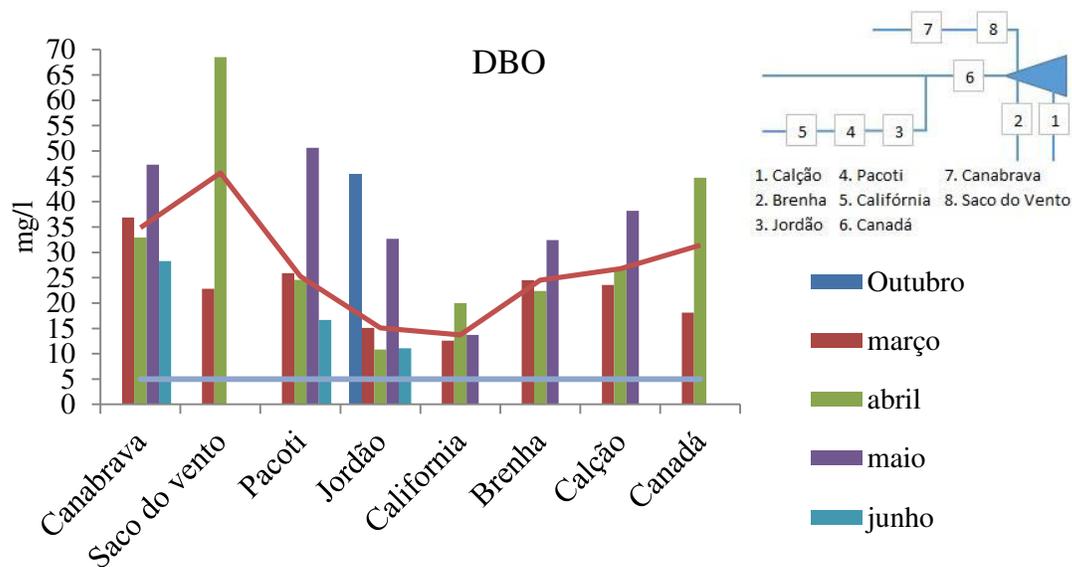
Outra análise realizada nessa pesquisa foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Em relação a esse parâmetro foi feito o mesmo procedimento dos demais, foram coletadas amostras das oito seções e levados ao laboratório do IFCE campus Maracanaú para ser dado prosseguimento nas análises laboratoriais.

A Figura 22 mostra o comportamento desse parâmetro nos meses em que foi realizado o monitoramento. Avaliando-se a referida figura na seção Saco do Vento, observa-se que a concentração de material orgânico está mais alterada nos meses de abril e maio, seguida pelas seções Pacoti e Canadá. Vale ressaltar que a seção Saco do Vento recebe contribuição de um curso d'água próximo ao qual existe um matadouro que faz o lançamento de seus efluentes diretamente no mesmo (Figura 23). Outro fator observado nas proximidades do matadouro durante as campanhas era um forte odor, o que, associado à presença de urubus, é indicativo de possível descarte de vísceras de animais abatidos.

O efluente advindo de matadouros possui elevada vazão e grande carga de sólidos em suspensão, nitrogênio orgânico e DBO, esta última em torno de 4.200 mg.L⁻¹ (AGUILAR, 2002, *apud* SANDRI *et al.*, 2011). Essa alta carga de poluente pode ser caracterizada devido à sua constituição, pois esses despejos são putrescíveis, tendo sua decomposição rápida e em poucas horas produzem gases. Características semelhantes

foram observadas pelos membros da pesquisa quando se dirigiam às seções e passavam perto desse matadouro.

Figura 22 - Concentrações de DBO nas seções de monitoramento



Fonte: Autora , (2014).

Figura 23 - Lançamento de resíduos no matadouro de Palmácia, abril, 2014



Fonte: Autora, julho (2014).

A Tabela 16 corrobora com a discussão apresentada anteriormente, observa-se que nas duas seções mais preocupantes no tocante ao material orgânico os valores de cargas de DBO são de 2128,73 kg.dia⁻¹ na seção Canadá e próximos de 2056 kg.dia⁻¹ na seção

Pacoti (Tabela 16), sendo também da ordem de 1000 kg.dia^{-1} na seção Calção. Esses valores são elevados considerando-se que essas seções alimentam o reservatório que abastece diversos municípios a jusante do mesmo. Considerando que a resolução Conama 357/2005 estabelece que para a classe II o limite da DBO é de até 5 mg.L^{-1} , como se pode observar na Figura 22 todas as seções estão fora do limite estabelecido pela resolução.

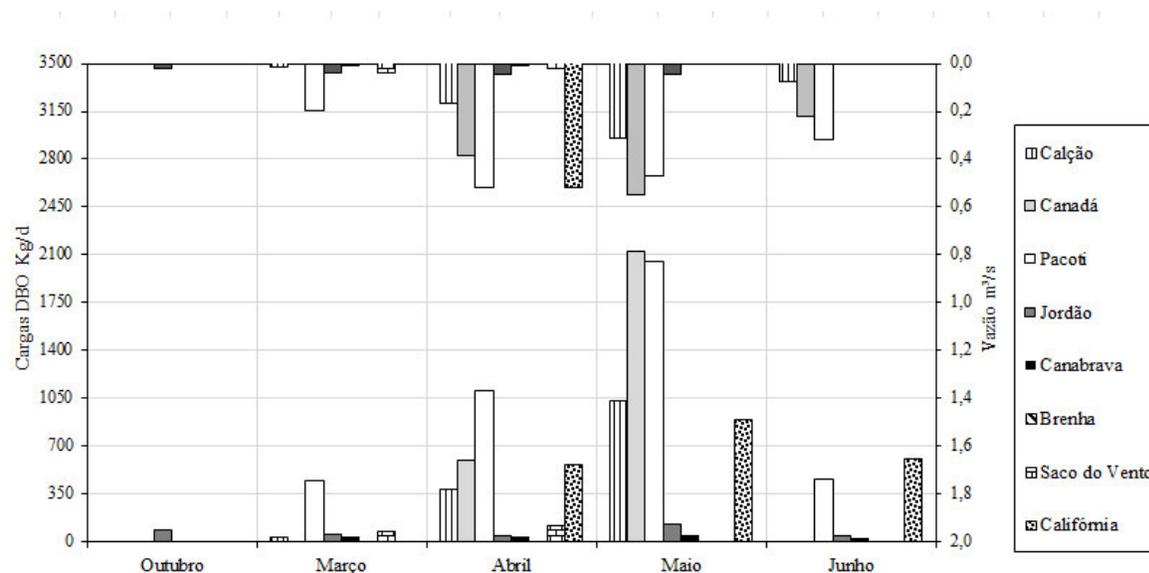
Tabela 18 - Carga de DBO nas seções de monitoramento

Meses	Cargas de DBO (kg/dia)							
	Canadá	Calção	Brenha	Saco do Vento	Califórnia	Pacoti	Canabrava	Jordão
Outubro								81,60
Março		35,89	2,25	78,81		445,31	41,29	49,68
Abril	601,60	387,20	2,06	119,93	561,96	1104,92	36,81	40,05
Maior	2128,73	1028,37	2,98		892,00	2056,35	52,93	125,68
Junho					611,02	455,08	31,67	42,66
Máximo	2128,73	1028,37	2,98	119,93	892,00	2056,35	52,93	125,68

Fonte: Autora, (2014).

Na Figura 24 pode-se observar a variação da carga de DBO de acordo com os meses analisados e também a vazão correspondente a cada coleta.

Figura 24 - Cargas de DBO nas seções de monitoramento



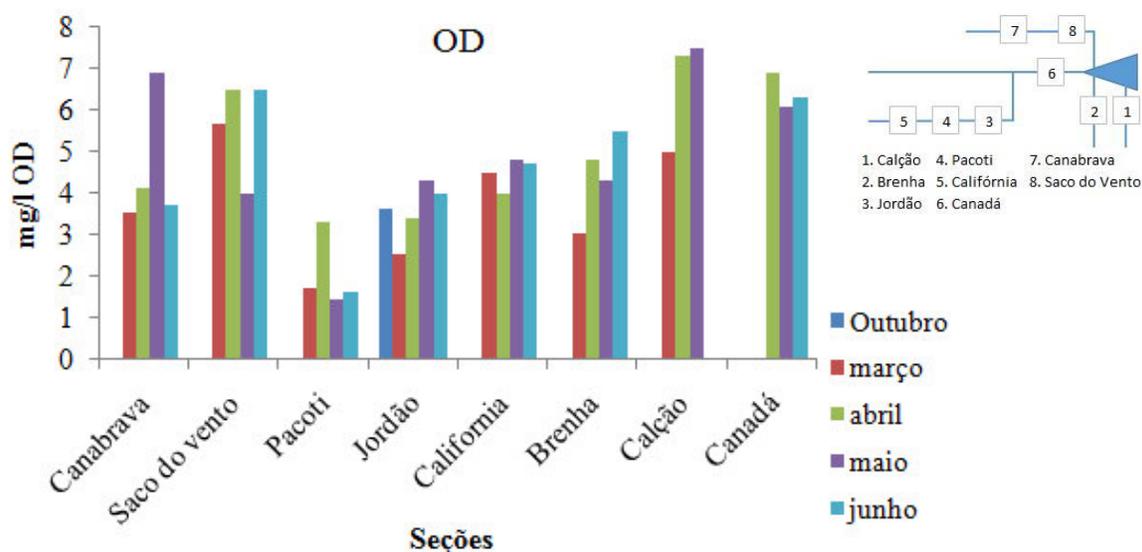
Fonte: Autora (2014).

OXIGENIO DISSOLVIDO - OD

O nível de oxigênio dissolvido na água é de essencial importância para os organismos aeróbios, ou seja, aqueles que requerem oxigênio para sobreviver. A evolução dessa variável ocorre da seguinte forma: as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo com esse uso vir a causar uma redução da sua concentração no meio, (VON SPERLING, 2005). Com o decréscimo do oxigênio dissolvido o meio pode sofrer grandes perdas, inclusive para os animais aquáticos mais exigentes, principalmente os peixes.

No caso de o OD ser totalmente consumido ocorrerá o processo chamado de anaerobiose, ou seja, ausência de oxigênio e ao invés dos processos aeróbios, ocorrerá processos anaeróbios, característicos de sistemas com poluição, principalmente por lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento.

Figura 25 - Concentrações de oxigênio dissolvido nas seções de monitoramento



Fonte: Autora, (2014).

A seção Pacoti (Figura 25), assim como ocorrido em relação aos nutrientes, é a que apresentou menores valores de OD. Na seção Pacoti registrou-se um valor mínimo de OD de 1,4 mg.L⁻¹, com condições próximas à anaerobiose. Esses baixos valores podem ser

relacionados com efluentes sem tratamento lançado a montante da seção. Além disso, a relativamente baixa declividade do rio na seção ($0,0069 \text{ m.m}^{-1}$) propicia menor velocidade no fluxo da água, o que implicaria em menor reaeração das águas nesse trecho.

As baixas concentrações de oxigênio dissolvido estão também diretamente relacionadas às altas concentrações de matéria orgânica indicadas pela DBO. Observa-se pelos valores da Tabela 15 que existe uma condição diferenciada entre as seções analisadas para o material orgânico, tendo sido obtido valor máximo de $68,55 \text{ mg L}^{-1}$ na seção Saco do Vento e valor mínimo na seção Jordão de $10,8 \text{ mg L}^{-1}$. Na seção Calção obteve-se maior concentração de OD, com valor máximo de $7,5 \text{ mg L}^{-1}$ e média de $7,3 \text{ mg L}^{-1}$, o que pode estar associado à turbulência do escoamento, visto que na seção há muitas rochas. A resolução CONAMA 357 determina que os valores de OD para a classe I não sejam inferiores a $6 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$, para a classe II o limite é $5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ e para a classe III o limite é 4 mg.L^{-1} . Analisando-se esses valores, pode-se dizer que as seções Calção ($7,3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$), Canadá ($6,43 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$) e Saco do vento ($5,6 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$) apresentam os melhores valores médios. A média dos demais locais encontra-se abaixo de $5 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_2$ sendo enquadrado na classe III (Pacoti, Jordão e Canabrava) e na classe II (California e Brenha), conforme a Tabela 15.

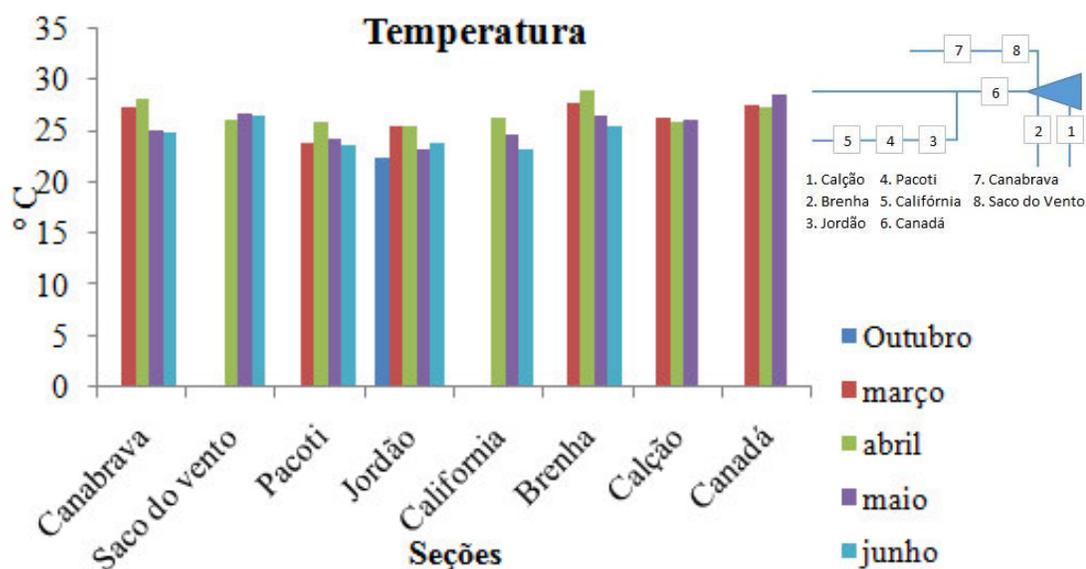
TEMPERATURA

A temperatura é uma condição ambiental muito importante em diversos estudos relacionados à qualidade de água, (PIVELLI e KATTO, 2006). Em relação ao aspecto aquático, a maioria dos organismos possui faixas de temperaturas "ótimas" para a reprodução. Com o aumento da temperatura, aumenta também o processo das reações, em particular de natureza bioquímica de decomposição de compostos orgânicos.

A temperatura nas seções de monitoramento apresentou baixa amplitude térmica no período analisado, com o maior valor de $28,8 \text{ }^\circ\text{C}$ na seção Brenha e amplitude de $3,4 \text{ }^\circ\text{C}$, (Tabela 15). A temperatura, apesar de ser um parâmetro simples de ser obtido, é muito importante, estando relacionada diretamente com a solubilidade dos gases. Por

exemplo, se a mesma se encontra alta, as taxas de oxigênio tendem a diminuir e aumenta a taxa das reações físicas, químicas e biológicas no sistema (VON SPERLING, 2005). Neste estudo, as medições sempre realizadas no período das oito às quatorze horas. A Figura 26 mostra as variações nos valores de temperatura nas seções analisadas e observa-se que não teve muita diferença entre os mesmos.

Figura 26 - Temperatura da água nas seções de monitoramento



Fonte: Autora, (2014).

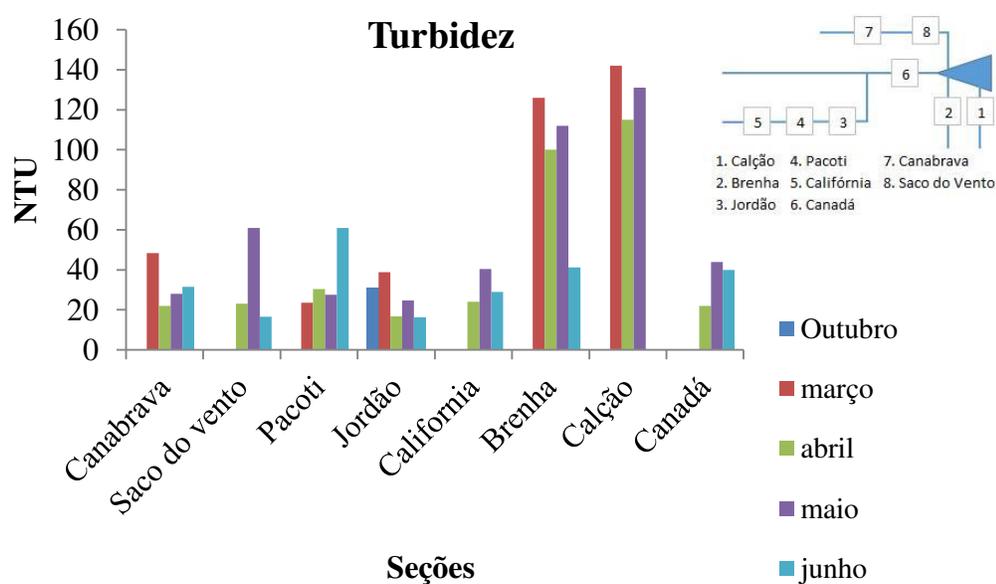
TURBIDEZ

A turbidez de uma amostra de água está relacionada diretamente aos sólidos em suspensão. Em outras palavras quanto mais sólidos presentes na amostra maior será o grau de turbidez. Um processo que interfere na turbidez é a erosão na bacia hidrográfica, incluindo margens dos rios. Valores altos de turbidez exigem manobras operacionais no tratamento da água, sendo necessárias alterações nas dosagens dos coagulantes e auxiliares (PIVELLI e KATTO, 2006).

Os valores de turbidez encontrados nas seções (Figura 27) se mostraram oscilantes em cada seção e durante todo o período. As seções com maiores valores de

turbidez foram Calção e Brenha, as quais ficam na parte mais baixa da bacia e as contribuições que provêm das mesmas são de zonas rurais. Nas duas seções mais críticas em relação aos sólidos em suspensão / turbidez foi verificada em média de 131 NTU (Unidade Nefelométrica de Turdidez) na seção Calção e de 106 NTU na seção Brenha. Valores altos de turbidez podem comprometer o ecossistema aquático, uma vez que causa a redução da penetração da luz solar, reduzindo assim a fotossíntese da vegetação aquática (BARRETO et al., 2010 *apud* BATISTA, 2013).

Figura 27 - Concentração da turbidez nas seções de monitoramento



Fonte: Autora, (2014).

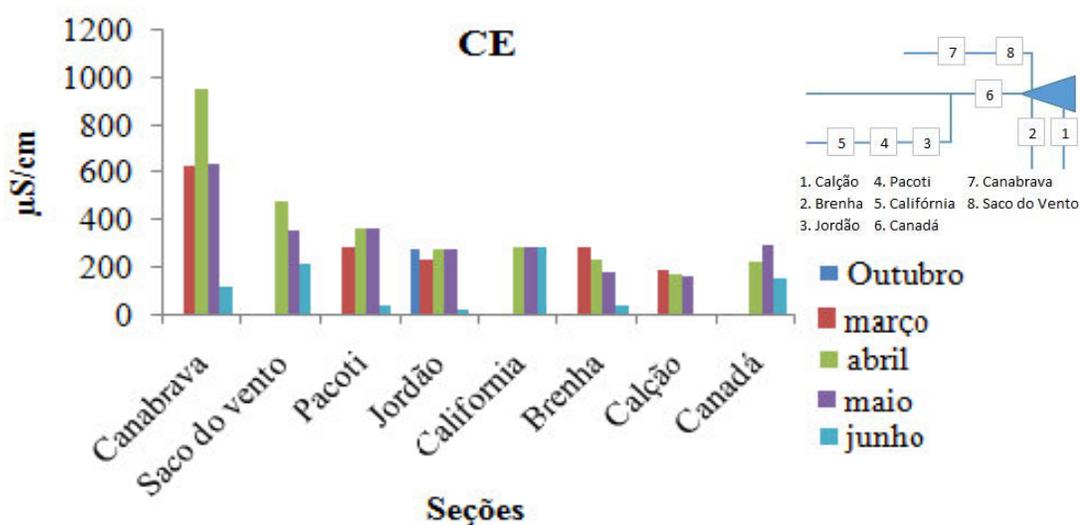
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (C.E)

Este parâmetro é caracterizado pela presença de íons dissolvidos na água. Pode-se dizer que a (CE) é a capacidade de a água conduzir corrente elétrica. A determinação deste parâmetro é uma das maneiras mais utilizadas para se determinar o nível de salinidade em um determinado corpo hídrico.

Entre as seções de monitoramento, a condutividade elétrica se apresentou bastante variável, como pode ser observado na Figura 28. Os maiores valores foram encontrados nas seções mais altas da bacia, em média de $630 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na seção Canabrava, $346 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na seção Saco do Vento e $320 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na seção Pacoti.

Valores altos de CE podem ser atribuídos também aos lançamentos de efluentes nas proximidades dos pontos de coletas, como também à geologia da área, visto que a dissolução das rochas liberam componentes minerais.

Figura 28 - Condutividade elétrica nas seções de monitoramento



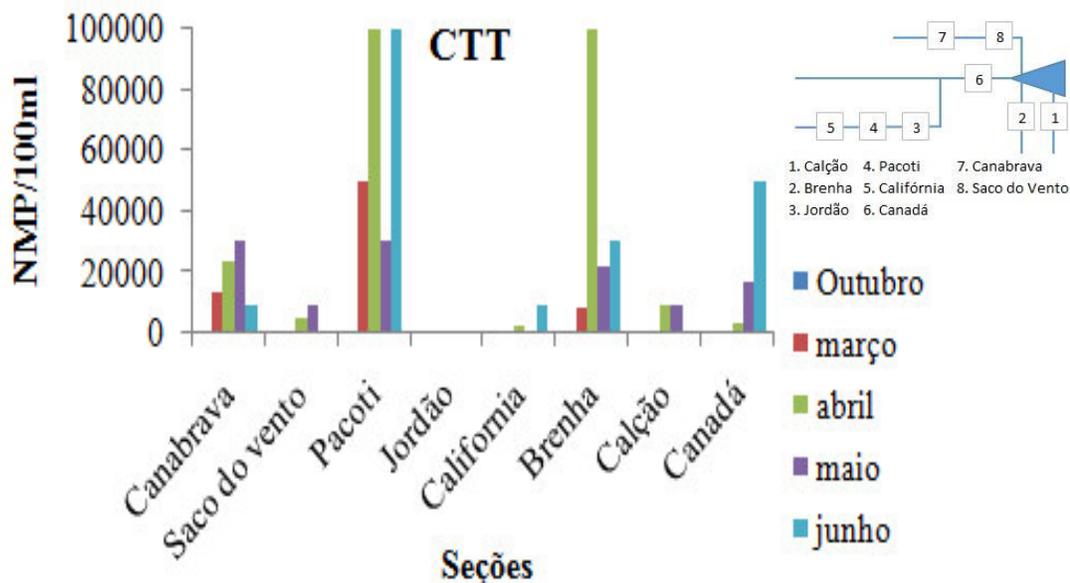
Fonte: Autora (2014).

COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Os coliformes termotolerantes (CTT) são bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, sendo representadas principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* (CONAMA, 357/2005). De acordo com a referida resolução, em águas de classe II não deve exceder limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais em pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano.

Das oitos seções monitoradas, as que apresentaram valores abaixo do máximo permitido foram: seção Calção (900 NMP/100 mL), seção Jordão (300 NMP/100 mL), Califórnia (130 NMP/100 mL), e seção Saco do Vento (280 NMP/100 mL), nas demais seções o mínimo encontrado foi 3000 NMP/100 mL (Tabela 15). Como pode ser observado na Figura 29, duas seções se mostraram mais discrepantes em relação às outras: as seções Pacoti e Brenha. A seção Pacoti obteve um valor máximo de 500.000 NMP/100 mL no mês de abril, seguida da seção Brenha. Como já relatado, a montante da seção Pacoti está a ETE do município, por sua vez, a seção Brenha se encontra próxima ao reservatório Acarape do Meio, ficando localizada em zona rural. Nesta última seção, os elevados valores de coliformes termotolerantes podem ser atribuídos a possíveis lançamentos de efluentes provindos das residências na área, visto que não existe um sistema de esgotamento na zona rural.

Figura 29 - Coliformes termotolerantes nas seções de monitoramento



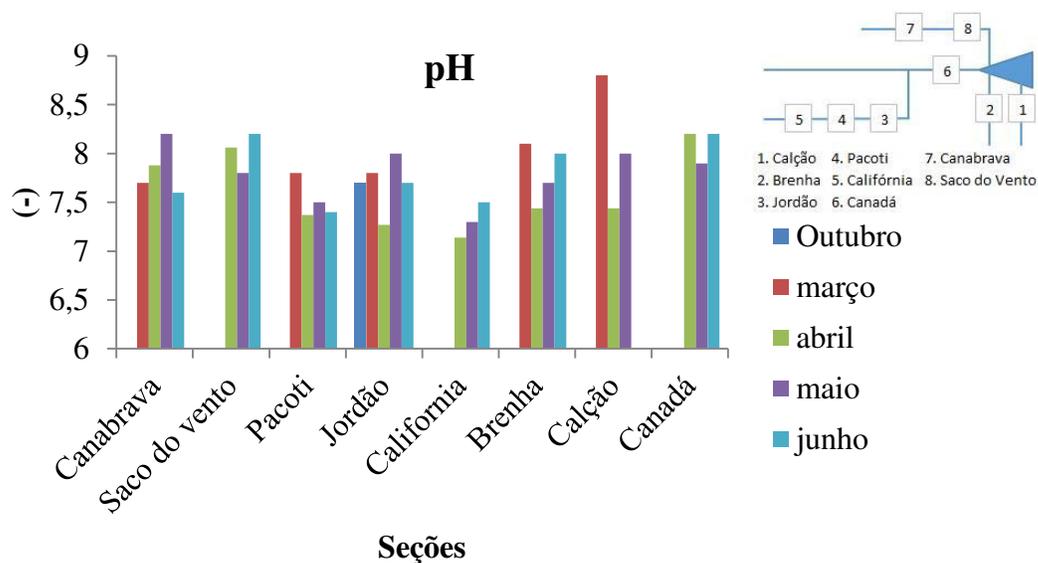
Fonte: Autora (2014).

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

O pH é usado para determinar se uma solução está ácida ou básica. Para Barbosa (2002) *Apud* Barreto, (2009), no semiárido nordestino, cuja precipitação é menor que a evaporação potencial, é comum o pH com valores próximos a oito ou superior. Nota-se na Figura 30 que o pH variou de 7,3 na seção Jordão a 8,8 na seção Calção. Todos os valores encontrados em todas as seções mostram que as águas das mesmas são alcalinas, estando dentro das normas estabelecidas de acordo com a Resolução CONAMA/2005 para as águas doces de Classe II, que é de 6 a 9.

A Figura 30 mostra o comportamento do pH nas seções analisadas no período em estudo. Os resultados mostram que o comportamento do pH das seções variou entre 7,3 e 8,8 durante os meses de acompanhamento, o que caracterizou, na maioria das vezes, uma tendência neutro-básico. Resultados semelhantes para o parâmetro em estudo foram encontrados no trabalho de Ribeiro (2007), analisando a qualidade da água do açude Acarape do Meio, que recebe as contribuições das referidas seções.

Figura 30 – Valores de pH nas seções de monitoradas



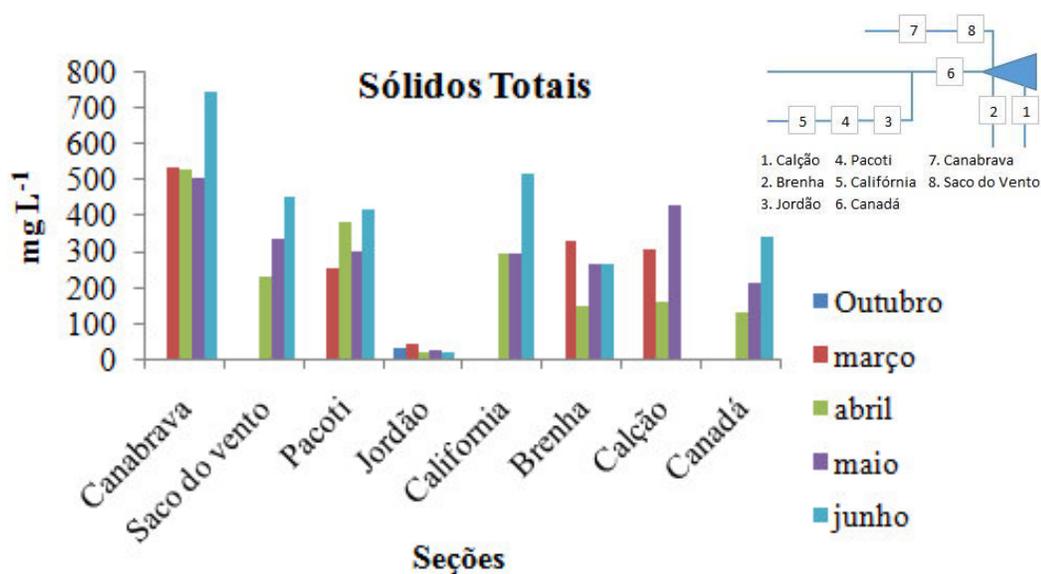
Fonte: Autora, (2014).

SÓLIDOS TOTAIS

Todos os contaminantes presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para carga de sólidos presentes na massa líquida, (VASCO *et al.*, 2011). As principais fontes de contribuição antrópica para o aumento da quantidade de sólidos na água dos mananciais são: despejos de esgotos e uso dos solos para a agricultura. De acordo com Von Sperling (1996), os esgotos não tratados contribuem com uma variação típica de 700 a 1.350 mg.L⁻¹ de sólidos totais.

Analisando a Figura 31, na qual estão expostas as concentrações de sólidos totais no período em análise, observa-se grande variabilidade em cada seção. As concentrações apresentam variações de 228 mg.L⁻¹ na seção Canadá e de 534 mg.L⁻¹ na seção Canabrava, seções essas que apresentaram maiores valores médios de DBO.

Figura 31- Sólidos Totais nas seções monitoradas



Fonte: Autora, (2014).

5.4 Caracterização do uso e ocupação do solo através de imagens de satélite

Geralmente a análise do uso e ocupação do solo auxilia na avaliação das consequências que certas atividades antrópicas podem trazer para o meio físico. Nesse contexto foi realizado um estudo de uso e ocupação do solo na bacia do Acarape do Meio através de imagens de satélite. Com duas imagens em anos distintos (2004 e 2013) pôde-se observar que houve mudanças significativas em relação ao uso e ocupação do solo na referida bacia no decorrer dos nove anos decorridos entre os registros dos satélites analisados. Nesse sentido, buscou-se relacionar o uso e ocupação do solo com a qualidade da água na bacia do Acarape do Meio.

As áreas ocupadas pelas classes de uso e ocupação do solo na bacia do Açude Acarape do Meio estão indicadas na Tabela 17, a qual é composta pelas seis classes analisadas neste estudo para os dois anos supracitados. Pode-se perceber que houve um crescimento da área urbana nas bacias contribuintes de todas as seções, exceto na seção Pacoti, a qual se encontra na saída da cidade de mesmo nome, no sentido de Palmácia. A bacia hidrográfica da seção Canadá foi a que obteve maior crescimento absoluto da área urbana (0,95 km²) no período, seguida da seção Saco do Vento, com 0,62 km².

O crescimento urbano sem planejamento pode acelerar a degradação da qualidade da água em qualquer ambiente. Na bacia do Acarape do Meio, as duas sub-bacias que apresentaram maior crescimento urbano em termos percentuais (Saco do Vento e Canadá, Tabela 20) trazem grandes preocupações no que se refere ao lançamento de efluentes (muitas vezes *in natura*) diretamente nos corpos hídricos, como pode ser observado na Figura 32, que ilustra o lançamento de efluente advindo do matadouro (esquerda) e o lançamento de água cinza proveniente de residências nas proximidades da seção Canadá.

Figura 32 - Lançamento de poluentes nas proximidades das seções de monitoramento, (Saco do Vento [A] e Canadá [B])



Fonte: Autora, (2014).

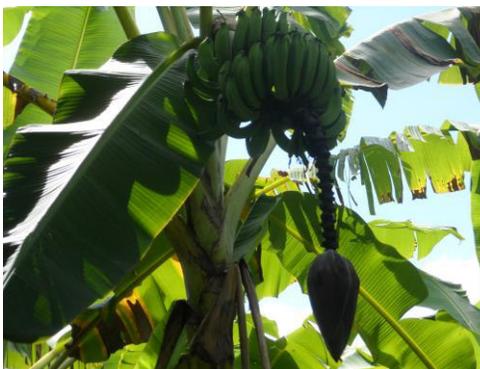
Analisando os corpos d'água, observa-se que em 2004, a bacia incremental da seção Acarape do Meio tinha uma área de 2,5 km² e em 2013 esse valor caiu para 0,9 km², ou seja, 64% a menos, levando a crer que, como 2004 foi um ano chuvoso o reservatório estaria com bastante água e em 2013 (segundo ano de uma seca multianual) estaria com bem menos água. De fato, atualmente (consulta ao portal da COGERH em 27/10/2014) o reservatório Acarape do Meio encontra-se com apenas 28,9% de sua capacidade máxima (COGERH, 2014).

As áreas de cultivos agrícolas diminuíram em todas as sub-bacias das seções comparando as áreas cultivadas em 2004 e 2013, visto que, como já foi dito, em 2004, houve muita chuva com precipitação de 2.030 mm e em 2013 1310 mm. Observando-se esses valores não se pode afirmar que a precipitação em 2013 foi baixa, porém devido à

distribuição irregular o ano de 2013 foi considerado um período que não teve uma boa quadra chuvosa. No ano anterior as precipitações foram ainda mais baixas, totalizando 747 mm, então as atividades que dependem exclusivamente das chuvas (agricultura de sequeiro) foram diretamente comprometidas.

Apesar da redução nas áreas de cultivos agrícolas, observa-se na (Figura 33) que os agricultores estão desmatando os morros para fazer plantio de culturas como milho, banana e feijão, prática essa que se não tiver maiores cuidados podem acarretar em problemas de erosão na bacia e conseqüentemente degradação da qualidade da água dos mananciais, corroborando com o que Sousa (2014) relatou em seu trabalho na mesma bacia.

Figura 33 – Culturas cultivadas nas áreas da bacia do Acarape do Meio em locais impróprios, com desmatamento de morros. Em março de 2014



Fonte: Autora, (2014).

Com relação às áreas de vegetação antropizada, quase todas as sub-bacias tiveram perda da sua área para algum tipo de uso, seja para plantio, desmatamento, habitação, etc. Constata-se que todas foram afetadas pela ação do homem, principalmente a seção Canadá, a maior sub-bacia estudada, com 101,12 km².

Analisando as quatro últimas colunas das Tabelas 17 e 18 (ocorrência de vegetação arbustiva e vegetação nativa), é possível verificar a tendência de decréscimo da vegetação nativa com o acréscimo da vegetação arbustiva no período de 2004 a 2013. Trabalho realizado por Sousa (2014), objetivando definir uma metodologia para monitorar o uso e ocupação do solo da bacia do Acarape do Meio, verificou que a bacia apresentou

um decréscimo significativo de mata nativa no período de 1985 a 2013, aproximadamente 50%, a autora atribui essa perda a possível falta de fiscalização da área. Em termos relativos, a sub-bacia que perdeu mais mata nativa no decorrer dos anos e conseqüentemente ganhou mais arbustiva foi a da seção Canadá. Em 2004, a referida seção tinha 2,5% de sua área ocupada por vegetação arbustiva e em 2013 aumentou para 25,6%, enquanto a vegetação nativa em 2004 tinha 33,8% e em 2013 esse valor diminuiu para 9,82%, podendo-se atribuir esse decréscimo aos desmatamentos decorrentes das atividades na bacia, como por exemplo queimadas para plantação, como foi constatado pela autora supracitada.

A partir dos mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 2004 e 2013 (Figuras 34 e 35), foi possível realizar uma análise comparativa das mudanças espaciais no uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Açude Acarape do Meio.

Analisando a vegetação nativa e arbustiva para os anos de 2004 e 2013 observa-se que no ano de 2004 a vegetação arbustiva ocupava menor área do que em 2013 já a vegetação nativa em 2004 a área ocupada era maior do que em 2013. Barbosa (2014), argumenta que a vegetação nativa tende ao decréscimo quando a vegetação arbustiva cresce, ou seja, quando é retirada a vegetação nativa a área passa a ser ocupada por vegetação arbustiva.

Tabela 19 - Áreas (km²) ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo nas sub-bacias das seções de monitoramento da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio

Seções	Área Total (Km ²)	Classes											
		Área Urbana		Corpos d'água		Cultivos Agrícolas		Vegetação Antropizada		Vegetação Arbustiva		Vegetação Nativa	
		2004	2013	2004	2013	2004	2013	2004	2013	2004	2013	2004	2013
Acarape	27,09	0,03	0,04	2,50	0,90	6,97	3,07	1,35	3,90	2,52	18,06	13,72	1,13
Brenha	9,43	0,02	0,06	0,00	0,00	2,34	1,01	2,90	3,55	0,41	4,05	3,77	0,76
Calção	6,44	0,00	0,01	0,00	0,00	0,96	0,28	1,81	1,46	0,75	4,05	2,90	0,65
Califórnia	17,08	0,05	0,06	0,07	0,08	1,96	1,28	1,18	2,90	1,17	3,12	12,67	9,64
Canabrava	7,71	0,11	0,12	0,07	0,03	1,90	0,49	1,57	1,57	1,42	4,94	2,65	0,57
Canadá	102,12	0,59	1,54	0,19	0,08	15,0	9,45	2,46	9,45	5,78	58,90	78,10	22,70
Jordão	8,86	0,05	0,08	0,00	0,00	1,40	0,71	0,52	0,99	1,04	2,52	5,85	4,57
Pacoti	17,44	0,21	0,20	0,03	0,01	1,31	0,95	1,57	3,87	1,23	4,03	13,10	8,38
Saco do Vento	17,47	0,28	0,90	0,05	0,04	3,38	1,46	2,28	3,02	3,77	8,18	7,71	3,88

Fonte: Autora, (2014).

Tabela 20 – Percentuais de áreas (%) ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo nas sub-bacias das seções de monitoramento da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio

Seções	Área Total (Km ²)	Classes											
		Área Urbana		Corpos d'água		Cultivos Agrícolas		Vegetação Antropizada		Vegetação Arbustiva		Vegetação Nativa	
		2004	2013	2004	2013	2004	2013	2004	2013	2004	2013	2004	2013
Acarape	27,09	0,01%	0,02%	1,08%	0,39%	3,01%	1,33%	0,58%	1,69%	1,09%	7,81%	5,94%	0,49%
Brenha	9,43	0,01%	0,03%	0,00%	0,00%	1,01%	0,44%	1,25%	1,54%	0,18%	1,75%	1,63%	0,33%
Calção	6,44	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,42%	0,12%	0,78%	0,63%	0,33%	1,75%	1,26%	0,28%
Califórnia	17,08	0,02%	0,03%	0,03%	0,03%	0,85%	0,55%	0,51%	1,25%	0,50%	1,35%	5,48%	4,17%
Canabrava	7,71	0,05%	0,05%	0,03%	0,01%	0,82%	0,21%	0,68%	0,68%	0,61%	2,14%	1,15%	0,25%
Canadá	102,12	0,26%	0,67%	0,08%	0,04%	6,49%	4,09%	1,07%	4,09%	2,50%	25,48%	33,79%	9,82%
Jordão	8,86	0,02%	0,04%	0,00%	0,00%	0,60%	0,31%	0,23%	0,43%	0,45%	1,09%	2,53%	1,98%
Pacoti	17,44	0,09%	0,09%	0,01%	0,01%	0,57%	0,41%	0,68%	1,68%	0,53%	1,74%	5,67%	3,63%
Saco do Vento	17,47	0,12%	0,39%	0,02%	0,02%	1,46%	0,63%	0,98%	1,31%	1,63%	3,54%	3,34%	1,68%

Fonte: Autora, (2014).

Figura 34 – Mapa de classificação da cena de 24/07/2004 de órbita 217 ponto 63 do satélite Landsat 5. Layout esquerdo colorida. Layout direito – classificação ISODATA

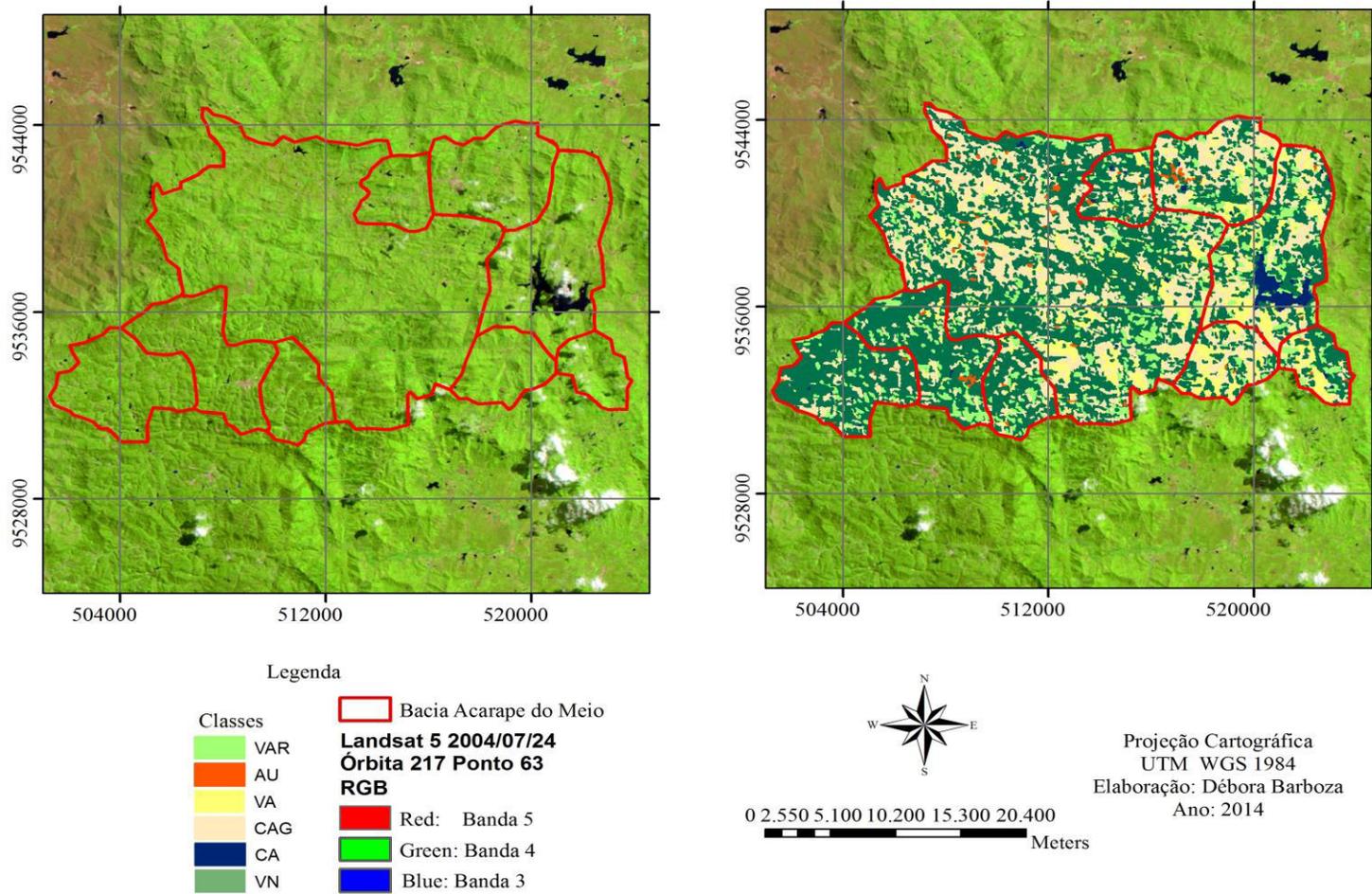
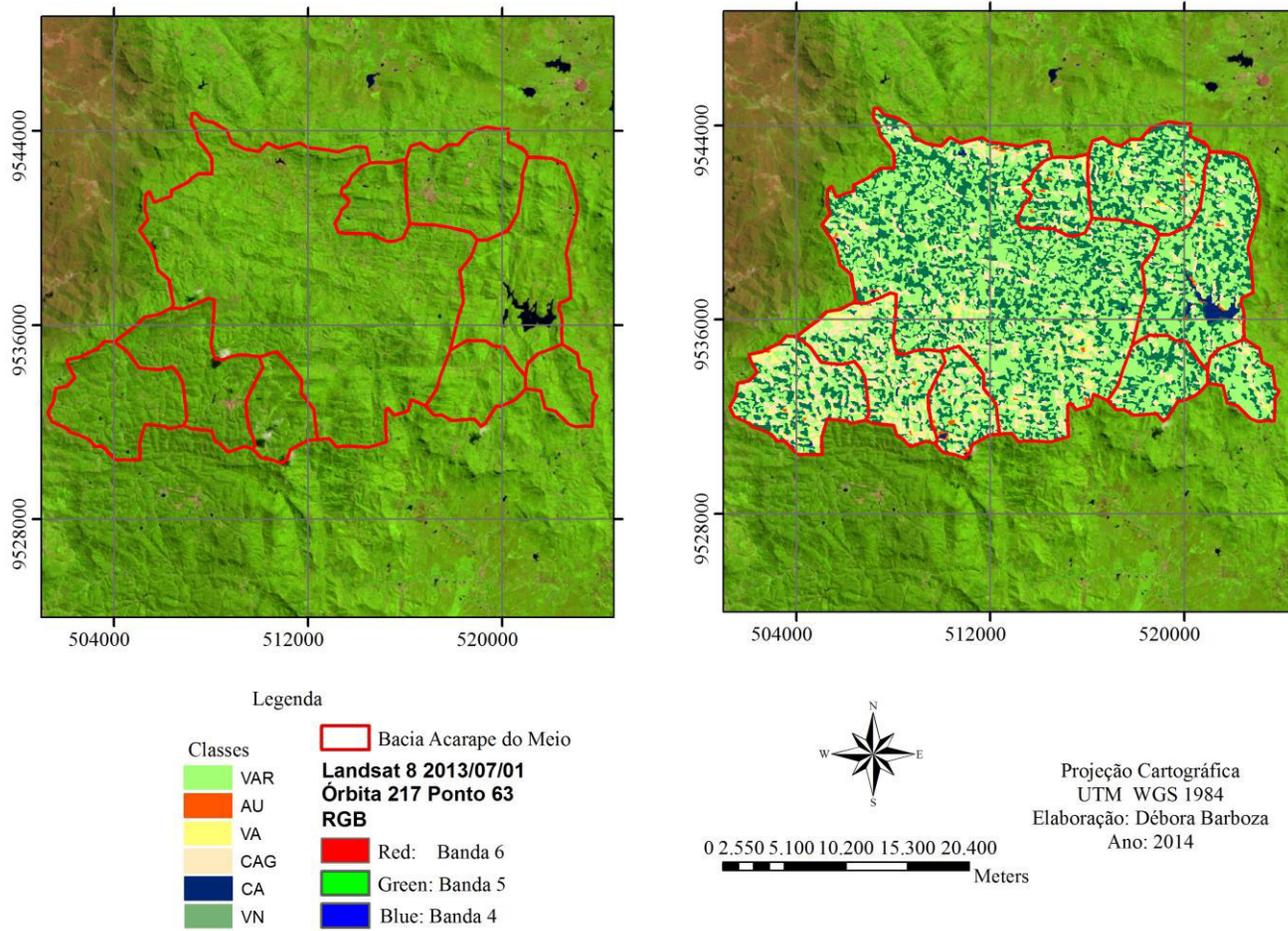


Figura 35 – Mapa de classificação da cena de 01/07/2013 de órbita 217 ponto 63 do satélite Landsat 8. Layout esquerdo colorida. Layout direito – classificação ISODATA



6 CONCLUSÕES

Ao término da pesquisa pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- A partir do banco de dados de qualidade da água do Açude Acarape do Meio, disponibilizado pela COGERH e submetido a análise estatística multivariada, pôde-se concluir a partir da Análise de Componentes Principais, que quatro componentes foram capazes de explicar 83,% da variância dos dados. As variáveis presentes nas componentes constituem-se principalmente de nutrientes e clorofila-a, indicando que a variabilidade da qualidade da água no Açude Acarape do Meio está associada ao processo de eutrofização. Além disso, as variáveis indicadas na análise como sendo as mais relevantes são relacionadas a ações antrópicas, indicando a forte relação entre a ocupação da bacia com a degradação da qualidade da água do referido açude.

- Análise de agrupamento indicou que, no período de 2004 a 2012, anos consecutivos são incluídos no mesmo grupo, e que há uma separação de grupos no decorrer do período. Esse fato indica que há uma alteração da qualidade da água com o passar do tempo, demonstrando a degradação da qualidade da água percebida de maneira subjetiva pelos usuários da água e pela COGERH.

- Ao avaliar as oito seções de monitoramento a montante do reservatório, chegou-se à conclusão que existe algumas que podem ser consideradas como principais responsáveis pelo processo de degradação da qualidade da água do açude Acarape do Meio: a seção Pacoti é a mais crítica, tanto em termos de coliformes termotolerantes como relacionada aos nutrientes, tendo em média de $0,37 \text{ mg.L}^{-1}$ de fósforo total e coliformes em média de 275.000 NMP/100 ml. As seções Canabrava e Saco do Vento também se mostraram preocupantes em termos de material orgânico, com valores médios de DBO de $34,90 \text{ mg.L}^{-1}$ e $35,22 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente.

- As análises de uso e ocupação do solo indicaram que houve mudanças nas seis classes avaliadas no período de 2004 a 2013. Dentre as classes analisadas, as que merecem maior

atenção são as classe dos cultivos agrícolas e de vegetação antropizada, que apresentaram mudanças significativas e ilustram a pressão antrópica sobre os recursos naturais na bacia do Acarape do Meio.

- Ao analisar todas as sub-bacias das seções de monitoramento e seus respectivos usos, constata-se que o fator mais preocupante, que vem contribuindo para a degradação da qualidade da água, consiste no lançamentos de efluentes, tratados ou lançados diretamente nos cursos d'água que alimentam o reservatório Acarape do Meio, principalmente no que se refere aos nutrientes.

REFERÊNCIAS

BRASIL- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. 2002. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2005. p.68.

BRASIL- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS- ANA. Caderno de Recursos Hídricos. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília, 2005.

BRASIL- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS- ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. **Informe 2012**. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=10743> Acesso em 30 jun.2013. 15hs36min.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS- ANA. Cuidando das Águas. **Soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Nairobi, Kenya 2010.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS- ANA. **Portal da qualidade das águas**. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>. Acesso em: 03 ago. 2013. 15hs59min.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS-ANA. **Procedimentos para o enquadramento dos corpos d'água**, 2004. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/gapb/ProcedimentosEnquadramento.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2013. 12hs36min.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Panorama de Enquadramento dos Corpos d'água, **Caderno de Recursos Hídricos**, Brasília, 2005.

BRASIL- Portaria do Ministério da Saúde – MS 2914 de 12 de Dezembro de 2011. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em 07 out de 2014.

ALMEIDA, M. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro,RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 01 p. 81-97, 2003.

BRASIL - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Revisão do Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas e Elaboração dos Planos de Gerenciamento das águas das Bacias do Litoral, Acaraú e Coreaú, no Estado do Ceará. Fase 1: **Estruturas e Diagnóstico**. Fortaleza-Ce. 2010.

ANDRADE, E. M et al. Avaliação da Qualidade das Águas no Açude Ayres de Souza Pelo Emprego da Estatística Multivariada. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. p. 1-12.

ANDRADE, E. M et al. Seleção dos Indicadores da Qualidade das Águas Superficiais Pelo Emprego da análise Multivariada. **Revista. Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, p. 683, set./dez. 2007.

ANDRADE, E. M. et al. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.2, p.135-142, 2005.

RAÚJO, J.A. Firmino de; SALES, R. J. Morais de; SOUZA, R. Oliveira de. Risco de Eutrofização em Reservatórios de Regiões Semiáridas Com Uso da Teoria dos Conjuntos Difusos. **Revista REGA-** vol 10, no.1, p. 29-30, jan./jun.2013.

CEARÁ- ASSEMBLÉIA DO ESTADO DO CEARÁ. **Caderno Regional das Bacias Metropolitanas**. Ceará: INESP, 2009. p. 136.

BARBOSA *et al.* Avaliação da Qualidade da Água de um Trecho do Rio Cocó sob a Possível Influência do Lixão desativado do Jungurussu. **Conex. Ci. e Tecnol.** Fortaleza/CE, v. 6,n. 3, p26-40, nov. 2012.

BERTOSI, A. P. A; CECÍLIO, A. R.: Qualidade da Água em Microbacias Hidrográficas com Diferentes coberturas de culturas do solo no Sul do Espírito Santo. **Revista Árvore**, v37, n.1 p.107, 2013.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 09 de janeiro de 1997. **Política Nacional dos Recursos Hídricos**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm > Acesso: 29 jun. 2013. 14hs24min.

CARLSON, R. E.; SIMPSON, J. A. Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. **North American Lake Management Society**, 1996.

CAVALCANTI, P. F. F.: **Aplicação de Reatores UASB e Lagoas de Polimento no tratamento de Esgoto Doméstico**. 1º ed. João Pessoa, Pb. Gráfica Santa Marta. 172p.

CEARÁ- **Caderno Regional das Bacias Metropolitanas**. v.09.2009.

CEARÁ- **Companhia de Gestão dos Recursos hídricos. Ficha técnica do Açude Acarape do Meio**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/?codigo=78&nome=Acarape%20do%20Meio&dadosacudesunico_template%3Amethod=Pesquisar?> Acesso em: 31 junho. 2013. 23hs54min.

CEARÁ- Inventário Ambiental do açude Acarape do Meio: **Fatores Condicionantes da Qualidade das Águas**, 2008. Disponível em: <[http://www.hidro.ce.gov.br/arquivos/inventarios/Invent%C3%A1rio%20Ambiental%20do%20A%C3%A7ude%20Acarape%20do%20Meio%20\(Deborah%20Mithya,%20Paulo%20Sucupira,%20Ronaldo%20Rosendo,%20Eduardo%20C%C3%A9sar,%20Carlos%20Henrique%20e%20Agacir%20-%20abr%202008\).pdf](http://www.hidro.ce.gov.br/arquivos/inventarios/Invent%C3%A1rio%20Ambiental%20do%20A%C3%A7ude%20Acarape%20do%20Meio%20(Deborah%20Mithya,%20Paulo%20Sucupira,%20Ronaldo%20Rosendo,%20Eduardo%20C%C3%A9sar,%20Carlos%20Henrique%20e%20Agacir%20-%20abr%202008).pdf)> Acesso em: 01 ago 2013. 00hs40min.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - CE (COGERH). **Portal Hidrológico do Ceará**. Acesso em 11jul 2014 às 03hs 29min.

CEARÁ. Perfil Básico Municipal: Guaiúba. Fortaleza, CE. **Instituto de Pesquisa Estratégia Econômica do Ceará**

IPECE,2013.://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/111.htm Acesso em 23 jan2013.09:hs17min.

CEARÁ. Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará- **PROGERIRH**. Disponível em:

http://www.srh.ce.gov.br/images/documentos/manual_operativo_progerirh.pdf. Acesso em 23 jan/2014. 13hs13min.

CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Variável de qualidade das águas. São Paulo. Set/2009.

CEARÁ- Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos- COGERH, Qualidade da Água em Açudes do Ceará Monitorados pela COGERH – IET. **Relatório Técnico** N° 002/2011. p.14

BRASIL - CONAMA, Resolução N° 357, de 17 de Março de 2005. **Publicada no DOU n° 053**, de 18/03/2005, p 58-63.

CUNHA *et al.*, 2013. **Resolução Conama 367/2005**: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do Estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005-2009).

DANELON, J.R.B; NETTO, F. M, de Luz; RODRIGUES, S. C. Análise do Nível de Fosforo Total, Nitrogênio Amoniacal e Cloretos nas Águas do Córrego Terra Branca no Município de Uberlândia (Mg). **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 1, n.4, p.412-421, 2012.

Disponível em: <<http://www.funceme.br/>> . Acesso em 19 de fev 2014.

EMBRAPA.

FÁVERO,L.P; BELFIORE, P.; SILVA. F.L da.; CHAN, B.L. **Análise de dados. modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FIGUEIREDO *et al.*, 2007. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Revista Eng. Sanitária Ambiental**. Vol.12. N° 4. Out/dez 2007, p. 399-409.

FRANÇA, J. M. B. Avaliação da degradação do açude Acarape do Meio com o uso de modelo matemático e geotecnologias. **Dissertação de mestrado** apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará- UFC 2013.

FUNCEME- Fundação Cearense de Meteorologia e recursos Hídricos. **Séries Históricas**. GARCIA, C. A. B.; ALVES, J.P.H. (2006). Qualidade da Água. Relatório de Pesquisa-LQA/UFS. São Cristóvão 2006. In: Diagnóstico e avaliação da sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim. Relatório de Pesquisa. UFS/FAPESE. São Cristóvão.

- GIRÃO, E. G. Análise Multivariada na Identificação dos Fatores Determinantes da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas - Ceará. **Dissertação de Mestrado** em Irrigação e Drenagem da Universidade Federal do Ceará, 108p. 2006.
- BRASIL - IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**- 2ºed. Rio de Janeiro, 2007.
- JOCOMINE, P. K.T. A nova classificação brasileiro de solos. **Universidade Federal Rural de Pernambuco**, Recife, Pernambuco. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19350/1/Jacomine.pdf>. Acesso em 13 jul/2014 às 14hs e 01 min.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamentos de Esgotos Domésticos**. 6º ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e ambiental- ABES, 2011.
- JUNIOR, R.J. A. de. Evolução Temporal dos Níveis Tróficos do Açude Epitácio Pessoa, semiárido paraibano. **Dissertação de Mestrado**. UEPB, 2009.
- LAMPARELLI, M. C. Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo – avaliação dos métodos de monitoramento. **Tese de Doutorado** – Instituto de Biociências da USP-São Paulo, 2004.
- LEAL, P. R. da. Avaliação de Indicadores do Estado Trófico de uma Lagoa Costeira: Lagoa Jacuném (Serra, ES). **Monografia** apresentada ao curso de Oceanografia da Universidade Federal do Espírito Santo. 2006.
- LEMO, C.A. Qualidade da Água de uma Bacia Hidrográfica Inserida na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Manquiné, Rio Grande do Sul, Brasil. **Dissertação de mestrado**, UFRS.2003.
- LIBANIO, M.; **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008, 2ª Edição.
- LIMA, F. F. de. Estado Trófico do Açude Acarape do Meio com Prognóstico Usando Modelagem Matemática. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Ceará-UFC. 2007. p.94.
- LOPES, B.F.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, Eunice Maia de. AQUINO, N, D.: ARAUJO, P, F. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, p. 392-401, jul./set. 2008.
- MAMEDE. G.L. Projeto de Pesquisa. Enquadramento de corpos d'água no semiárido brasileiro como instrumento de gestão e sustentabilidade ambiental: o caso do Acarape do Meio, Região Metropolitana de Fortaleza. **Edital MCT/CNPq N° 014/2012** – Universal.
- MEIRELES, M. Classificação das águas na bacia do Acaraú. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. nov/dez, 2004, São Luís. **Anais...** São Luis: ABRH, 2004, CD-ROM.

MENDIGUCHÍA, C. et al. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain). **Analytica Chimica Acta**, v.515, p.143-9, 2004.

MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M.D.; GARCÍA-VARGAS, M. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain). **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v.515, p.143-9, april, 2004.

MESQUITA, T. B.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para Implantação de Tecnologias de MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**.5º ed. Rio de Janeiro: Abes, 2012. ISBN- 978-85-7563-950-4.

MOTA, S. **Preservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1988. 222p.

NAVAL, L.P.; SILVA. C. D. F.; SOUZA. M. A. A. Comportamento dos índices trófico de Carlson (IET) e Modificado (IETm) no reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães, Tocantins- Brasil. 2003.

NORUSIS, M. J. SPSS. **Base System User's Guide**. Chicago: SPSS Inc, 1990.520 p.

PACHECO, C.H. A.: Dinâmica Espacial e Temporal de Variáveis Limnológicas e sua Influencia Sobre as Cianobactérias em um Reservatório Eutrofizado: Açude Acarape do Meio. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Campina Grande-UFCG. 2009. 109pg.

PALÁCIO, H.A.Q de. Índice de qualidade das águas na parte baixa da Bacia Hidrográfica do Rio Trussu, Ceará. **Dissertação de Mestrado-UFC** 2004.

PAULA, A. de Souza de; Cainzos, L. P; Barros, O. N, F; Ralisch, R. Análise Multitemporal do uso e ocupação do solo entre 1987 e 2004 na Zona de expansão urbana norte de Londrina-PR, utilizando Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2877-2890, 2012.

PEREIRA, J. C. R. Análise de dados qualitativos: **estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. 3ed. São Paulo: EDUSP, 2004.

PLANETA SUSTENTÁVEL. **4º Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública**. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/saude/cada-r-1-investido-saneamento-economiza-r-4-saude-736829.shtml>>. Acesso em 03 ago 2013.18hs08min.

PORTO, E. R., GARAGORRY, F. L., SILVA, A., MOITA, A.W. Riscos climáticos: estimativa de sucesso da agricultura dependente de chuva para diferentes épocas de plantio I. Cultivo de feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.) Petrolina, PE: **EMBRAPA-CPATSA**,1983. 129 p. (EMBRAPA-CPATSA Documentos, 23).

REBOUÇAS, Aldo da C. Águas na Região Nordeste: **Desperdício e escassez**. Estudos Avançados. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v11n29/v11n29a07.pdf>. Acesso em 12 jul 2014 às 13hs 50 min.

REVISTA EXAME.COM. **Agência Brasil**. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/meio-ambiente-e-energia/noticias/falta-de-agua-potavel-mata-uma-crianca-a-cada-15-segundos-3>>. Acesso em: 03 ago.2013. 18hs11min.

RIBEIRO, I. V. S. Estudo do Estado Trófico do Reservatório Acarape do Meio Mediante a Determinação de Indicadores de Qualidade de Água. **Tese de doutorado** em Recursos hídricos. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza -CE, 198p. 2007.

SABIÁ, R. J. Estudo do Padrão de Emissão de Poluentes para o Enquadramento de Rios Intermitente: Estudo de Caso do Rio Salgado-CE. **Tese de Doutorado** apresentado ao Departamento da Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará-UFC 2008.

SOUSA, D. C. B de. : Utilização de Lógica Fuzzy e Sensoriamento Remoto no Monitoramento do Uso do Solo: Estudo de Caso da Bacia do Acarape do Meio. **Dissertação de Mestrado** – UFC. 2014.

SIQUEIRA, G.W.: APRILE, F.: MIGUÉIS, A. M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauebas (Pará-Brasil. **Acta Amazônica**, 2012, v.42 (3):413-422.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1995.

TUNDISI, J.G. 2003. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. Editora Rima, São Paulo. 247 pp.

TUNDISI, J.G. **Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos**. Revista USP, São Paulo, p.24-35, junho/agosto 2006.

United Nations Department for Economic and Social Affairs (UN-DESA). (2009). and UN-Water **Decade Programme on Capacity Development** (UNW-DPC). Gender-Disaggregated Data on Water and Sanitation. United Nations, New York, NY.

VICINI, L.; SOUZA. A. M. **Análise Multivariada da Teoria à Prática**. Universidade Federal de Santa Maria- UFSM. 2005.

VICINI. L. SOUZA. A. M. **Análise Multivariada da Teoria à Prática**. Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2005. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/adriano/livro/Caderno%20dedatico%20multivariada%20-%20LIVRO%20FINAL%201.pdf>>. Acesso em 02 ago. 2013. 15hs13min.

VIDAL, M.; LÓPEZ, A. ; SANTOALLA, M. C.; VALLES, V. Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer. **Agricultural Water Management**, v. 45, p. 1-15, 2000.

VIDAL, M.; LÓPEZ, A.; SANTOALLA, M.C.; VALLES, V. Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer.

Agricultural Water Management, Netherlands, v.45, n.1, p.1-15, 2000.

WIEGAND, M. C. Proposta Metodológica Para Estimativa da Produção de Sedimentos em Grandes Bacias Hidrográficas: Estudo de Caso Alto Jaguaribe. **Dissertação de Mestrado**.

Universidade Federal do Ceará- UFC, 2009.

**APENDICE A- PARÂMETROS ANALISADOS NO PERÍODO DE 2001 A 2012 NO
AÇUDE ACARAPE DO MEIO COM OS RESPECTIVOS LIMITES DE ACORDO COM
A RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005**

Parâmetro	Unidade	Valor Medido			Limite para classe		
		Mínimo	Médio	Máximo	I	II	III
Alcalinidade Bicarbonatada	mg/L Ca(CO ₃) ₂	11,90	89,15	131,10	*	*	*
Alcalinidade Carbonatada	mg/L CaCO ₃	0,00	5,11	56,96	*	*	*
Alcalinidade Hidróx.	mg/L OH	0,00	0,00	0,26	*	*	*
Alcalinidade Parcial	mg/L	0,00	12,73	31,30	*	*	*
Alcalinidade Total	mg/L	74,70	90,19	114,50	*	*	*
Alumínio	mg/L Al	0,00	1,02	2,26	0,1	*	*
Aulacoseira granulata	células/mL	0,80	67,07	487,60	*	*	*
Aulacoseira granulata	células/mL	159,20	159,20	159,20	*	*	*
Bacillariophyta	células/mL	2,40	979,05	7602,40	*	*	*
Condutividade Elétrica	mS/cm	0,14	0,31	0,53	*	*	*
Cádmio	mg/L Cd	0,00	0,13	0,50	0,001	*	*
Cálcio	mg/L Ca	7,00	13,93	39,00	*	*	*
Choococales	células/mL	1,04	108,91	489,00	*	*	*
Chroococcales	células/mL	566,00	5941,28	18855,50	*	*	*
Chroococcus sp.	células/mL	933,60	2509,33	3464,00	*	*	*
Chumbo	mg/L Pb	0,00	0,04	0,50	0,01	*	*
Cloretos	mg/L Cl	0,34	44,27	314,00	250,00	250,00	250,00
Clorofila-a	µg/L	0,00	30,12	180,14	10,00	30,00	60,00
Closterium sp.	células/mL	58,30	76,90	95,50	*	*	*
Cobre	mg/L Cu	0,00	0,10	0,35	0,009	*	*
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	0,00	831,71	16000,00	200,00	1000,00	2500,00
Coliformes Totais	NMP/100ml	2,99	21,33	93,00	*	*	*
Cont. Cianobacterias	células/mL	10891,00	259142,19	1309116,00	*	*	*
Contagem dos Demais Grupos	células/mL	67,30	3562,82	31777,20	*	*	*
Cor	uH	5,00	25,82	188,00	*	*	*
Cor Verdadeira	mgPt/L	11,00	21,75	33,45	*	*	*
Cromo Total	mg/L Cr	0,16	0,30	0,35	*	*	*
Crucigenia sp.	células/mL	1,36	444,56	1273,60	*	*	*
Cryptomonas sp.	células/mL	56,60	445,24	1229,80	*	*	*
Cyclotella sp.	células/mL	0,60	110,90	622,60	*	*	*
Cylindrospermopsis catemaco	células/mL	742,00	1255,00	1768,00	*	*	*
Cylindrospermopsis raciborskii	células/mL	1,15	70728,95	739024,00	*	*	*
DBO	mg/L O ₂	1,00	52,35	413,53	6,00	5,00	10,00
Dictyosphaerium sp.	células/mL	155,60	921,76	1768,00	*	*	*

Continuação

Parâmetro	Unidade	Valor Medido			Limite para classe		
		Mínimo	Médio	Máximo	I	II	III
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	53,70	73,37	122,10	*	*	*
Euglenophyta	células/mL	1,07	356,40	925,20	*	*	*
Feofitina	µg/L	0,0	11,52	324,91	*	*	*
Ferro	mg/L Fe	0,00	0,17	3,20	*	*	*
Fósforo Total	mg/L P	0,00	0,22	5,38	0,03	0,05	0,07
Geitlerinema sp.	células/mL	1118,00	2361,25	4385,00	*	*	*
Magnésio	mg/L Mg	0,20	9,97	37,10	*	*	*
Melosira sp.	células/mL	1,00	239,20	831,60	*	*	*
Merismopedia sp.	células/mL	1,02	14425,55	150538,40	*	*	*
Microcystis aeruginosa	células/mL	666,00	1001,20	1336,40	*	*	*
Monoraphidium contortum	células/mL	134,40	586,18	1856,40	*	*	*
Monoraphidium sp.	células/mL	0,40	60,52	222,20	*	*	*
Níquel	mg/L Ni	0,00	-0,09	0,50	*	*	*
Nitratos	mg/L NO ₃	0,00	0,15	1,68	10,00	10,00	10,00
Nitrito	mg/L NO ₂	0,00	0,04	9,00	1,00	1,00	1,00
Nitrogênio Total	mg/L	0,00	0,86	7,83	*	*	*
Nitrogênio Amoniacal	mg/L NH ₃ ,4	0,00	-0,10	2,10	2,00	2,00	5,60
Nostocaceae	células/mL	1,11	149,66	966,00	*	*	*
OD	mg/L O ₂	0,00	4,56	39,36	6,00	5,00	4,00
Oocystis sp.	Celulas/mL	382,00	382,00	382,00	*	*	*
Ortof. Solúvel	mg/L	0,00	0,17	16,50	*	*	*
Pediastrum sp.	Célula/mL	33,60	33,60	33,60	*	*	*
Peridinium sp.	células/mL	67,20	177,53	353,60	*	*	*
pH	Adimensional	6,90	7,97	9,40	6-9	6-9	6-9
Planktolingbya sp.	células/mL	2226,00	3160,00	4420,00	*	*	*
Planktothrix agardhii	células/mL	1,26	41798,08	233310,00	*	*	*
Planktothrix sp.	células/mL	26310,00	26310,00	26310,00	*	*	*
Potássio	mg/L K	1,50	6,19	19,20	*	*	*
Pseudanabaena sp	células/mL	12415,00	89565,71	282561,70	*	*	*
Salinidade	‰	0,00	0,03	0,18	*	*	*
Scenedesmus sp.	células/mL	240,40	297,00	353,60	*	*	*
Schroederia sp.	células/mL	353,60	353,60	353,60	*	*	*
Sílica	mg/L SiO ₂	1,10	10,03	16,10	*	*	*
Sódio	mg/L Na	0,15	44,29	105,00	*	*	*
Sól. Dissolv. Totais	mg/L	27,90	229,62	526,00	500	*	*
Sólidos Sus. Totais	mg/L	232,00	232,00	232,00	*	*	*
Sólidos Totais	mg/L	19,00	222,09	534,00	*	*	*

Conclusão

Parâmetro	Unidade	Valor Medido			Limite para classe		
		Mínimo	Médio	Máximo	I	II	III
Staurastrum sp.	células/mL	0,40	38,33	128,00	*	*	*
Sulfatos	mg/L	0,00	15,14	53,50	250,00	250,00	250,00
Surirella sp.	células/mL	4,60	4,60	4,60	*	*	*
Synechocystis sp.	(vazio)	1414,00	1414,00	1414,00	*	*	*
Temperatura Água	°C	24,60	26,84	31,77	*	*	*
Temperatura Ambiente	°C	32,50	32,50	32,50	*	*	*
Tetraedron minimum	células/mL	134,40	183,90	233,40	*	*	*
Tetraedron sp.	células/mL	57,60	98,40	158,00	*	*	*
Tetraedrum minimum	células/mL	4,20	4,20	4,20	*	*	*
Trachaelomonas sp.	células/mL	83,30	83,30	83,30	*	*	*
Trachelomonas sp.	células/mL	67,20	68,95	70,70	*	*	*
Turbidez	NTU	0,00	15,27	97,27	40,00	100,00	100,00
Zinco	mg/L Zn	0,00	0,10	0,50	0,18	*	*