



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ABRAÃO EVANGELISTA SAMPAIO**

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA DA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE AGUA DE MARANGUAPE TRATANDO ÁGUA DE  
DOIS DISTINTOS MANANCIASIS: AÇUDES ACARAPE DO MEIO E  
GAVIÃO**

**FORTALEZA**

**2014**

**ABRAÃO EVANGELISTA SAMPAIO**

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE MARANGUAPE TRATANDO ÁGUA DE DOIS DISTINTOS  
MANANCIAIS: AÇUDES ACARAPE DO MEIO E GAVIÃO**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Gestão de Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Recursos Hídricos, área de concentração Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. José Capelo Neto

Co-orientador: Dr. Silvano Porto Pereira

FORTALEZA

2014

ABRAÃO EVANGELISTA SAMPAIO

AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
AGUA DE MARANGUAPE TRATANDO ÁGUA DE DOIS DISTINTOS MANANCIASIS:  
AÇUDES ACARAPE DO MEIO E GAVIÃO

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Gestão de Recursos  
Hídricos da Universidade Federal do  
Ceará – UFC como parte dos requisitos  
para obtenção de título de Mestre em  
Gestão de Recursos Hídricos.

Aprovada em 20 de janeiro de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Dr. Silvano Porto Pereira (Co-orientador)  
Companhia de Água e Esgoto do Ceará

---

Dra. Claudia Elisângela Tolentino Caixeta  
Companhia de Água e Esgoto do Ceará

Ao meu Deus, rocha minha, que está sempre ao meu lado me abençoando, sendo uma fonte inesgotável de minha inspiração.

Aos meus pais Beó e Irene, que com amor e dedicação, me apoiaram incondicionalmente em todos os passos de minha formação como pessoa e profissional, a eles minha gratidão.

Aos meus filhotes Lícia, Gael e Lavínia, pela a alegria e carinho de todos os dias ao chegar em casa, abraçando-me beijando-me mesmo nas horas mas difíceis.

A Minha esposa Raquel pelo amor, estímulo e apoio incondicional.

### **AGRADECIMENTOS ESPECIAIS**

Aos meus orientadores Professores Capelo Neto e Silvano Porto pela dedicação na orientação deste trabalho.

A Companhia de água e Esgoto do Ceará – CAGECE por proporcionar a realização deste curso.

Aos colegas de trabalho em especial

## RESUMO

Por causa do aumento expressivo da poluição ambiental ocorrido nas últimas décadas, a eutrofização artificial vem recebendo maior atenção por parte da comunidade científica e concessionárias de saneamento. Devido a esse problema, houve considerável elevação nos custos de tratamento da água para adequar aos padrões exigidos pela Portaria do Ministério da Saúde (2914/2011). O presente trabalho levantou, avaliou e comparou, entre janeiro de 2010 a dezembro de 2012, os custos de produção de água na Estação de Tratamento de Água (ETA) que abastece a cidade de Maranguape, considerando as captações nos açudes Gavião e Acarape do Meio. Neste contexto, procurou-se o entendimento dos processos através da análise dos custos com água bruta, energia elétrica, produtos químicos, operação e perda de água nas lavagens dos filtros. A pesquisa mostra que a média dos custos de produção de água na saída da ETA é de R\$ 0,26/m<sup>3</sup> utilizando como manancial de abastecimento o açude Acarape do Meio e R\$ 0,44/m<sup>3</sup> quando utilizado o açude Gavião. Observou-se que estes custos são fortemente influenciados pela diferença das tarifas da água bruta, sendo o custo da água vinda do açude Gavião três vezes maior que a água do açude Acarape do Meio. Observou-se que, apesar de ter uma pior qualidade, o que influencia nas perdas por lavagem e no aumento do consumo de produtos químicos, a água do açude Acarape do Meio permite uma redução média de 66% dos custos de produção de água tratada quando comparado com os meses em que a ETA Maranguape é alimentada pelo açude Gavião.

**Palavras-chave:** Mananciais, ETA Maranguape, custos de tratamento de água.

## ABSTRACT

Because of the significant increase in environmental pollution that happened in the last decades, the artificial eutrophication has received a bigger attention of scientific community and concessionaires sanitation. Because of this problem there was a considerable elevation in the water treatment costs to conform to the standards required by the Portaria do Ministério da Saúde (2914/2011). This work showed, evaluated and compared, between January of 2010 and December of 2012, the cost of water production in the Estação de Tratamento de Água (ETA) that supplies Maranguape city, considering the catchment in the Gavião and Acarape do Meio weirs. In this context, sought to understand the process through analysis of gross water costs, electric energy, chemicals, operation and loss of water in the wash filters. The research shows that the average cost of water production at the exit of the ETA is R\$ 0,26/m<sup>3</sup> using as supply fountainhead the Acarape do Meio weir and R\$ 0,44/m<sup>3</sup> when used the Gavião weir. It was noted that these costs are strongly influenced by the rates of gross water, being the cost of water that came from Gavião weir three times bigger than the water of Acarape do Meio weir. It was noted that, despite having a lower quality, what influences in the washing losses and increased consumption of chemicals, the water of Acarape do Meio weir allows an average reduction of 66% of the production costs of treated water when compared with the months in which the ETA Maranguape is fueled by the Gavião weir.

**KEYWORDS:** MANANCIAIS, ETA MARANGUAPE, WATER TREATMENT COSTS.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01. Organograma da Estação de Tratamento de Água, estudada.....	21
Figura 02. Localização e delimitação da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio. ....	27
Figura 03- Delimitação da bacia hidrográfica do açude Gavião em série com os açudes Pacoti e Riachão .....	30
Figura 04. Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Maranguape .....	32
Figura 05: Imagem de satélite da ETA Maranguape .....	33
Figura 06: Variação da turbidez da água com a precipitação ocorrida nos açudes Acarape do Meio e Gavião no período do estudo .....	36
Figura 07: Variação na cor da água com a precipitação ocorrida nos açudes Acarape do Meio e Gavião no período do estudo. ....	36
Figura 08: Dosagem de Hipoclorito de Cálcio na Pré-cloração da ETA .....	38
Figura 09: Dosagem de PAC-23, para água do Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.....	39
Figura 10: Custo total da produção de água na ETA para a água do açude Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo. ....	40
Figura 11: Custo do metro cúbico de água produzida na ETA Maranguape detalhando a participação média dos custos de cada insumo: Água bruta, energia elétrica, Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio e operação para o manancial de captação açude Gavião .....	41
Figura 12: Custo do metro cúbico de água produzida na ETA Maranguape detalhando a participação média dos custos de cada insumo: Água bruta, energia elétrica, Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio e operação para o manancial de captação açude Acarape do Meio.....	43



Figura - 13: Consumo de energia elétrica na ETA para a água do açude Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.

.....44

Figura - 14: Custo total da produção de água na ETA para a água do açude Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.

.....45

Figura - 15: Custo do metro cúbico de água produzida na ETA Maranguape detalhando a participação média dos custos de cada insumo: Água bruta, energia elétrica, Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio e operação para o manancial de captação açude Gavião.....47

Figura - 16: Custo do metro cúbico de água produzida na ETA Maranguape detalhando a participação média dos custos de cada insumo: Água bruta, energia elétrica, Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio e operação para o manancial de captação açude Gavião.....47

**LISTA DE TABELA**

Tabela 1. Custos totais dos insumos para produção de 1 m <sup>3</sup> de água tratada.....	45
--	----

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
3.1 Tecnologias de Tratamento de Água .....	21
3.2 Custos de Operação e Manutenção .....	23
3.2.1 Perdas de Água nas Lavagens dos Filtros .....	24
3.2.2 Produtos Químicos .....	24
3.2.3 Energia Elétrica .....	25
4. MATERIAL E MÉTODO .....	26
4.1 Características da Área de Estudo .....	26
4.2 Açude Acarape do Meio .....	27
4.3 Açude Gavião .....	29
4.4 Estação de Tratamento de Água Maranguape .....	31
4.5 Ferramentas Utilizadas .....	33
5. RESULTADOS .....	35
5.1 Qualidade da Água Bruta .....	35
5.2 Consumo de Produtos Químicos .....	37

5.3 Consumo de Água de Lavagem .....	42
5.4 Consumo de Energia Elétrica .....	43
5.5 Custo Médio de Produção de Água .....	44
5.6 Resumo de Participação dos Custos de Produção .....	45
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parcela da população mundial, cerca de 1,1 bilhão de pessoas (WHO, 2004), não tem acesso a água microbiologicamente segura para o seu consumo, resultando na ocorrência 2,2 milhões de mortes anuais por diarreia causada pela ingestão de água imprópria para o consumo, sendo as crianças as principais vítimas.

Uma das razões disto é a persistente contaminação das fontes de água em todo o mundo, devido ao aumento da população, crescimento e expansão das cidades, ocupação contínua e desordenada das periferias urbanas e do aumento do transporte de poluentes em direção aos corpos de água superficiais e subterrâneos promovidos pelo desmatamento e aumento das áreas impermeabilizadas, com o conseqüente aumento do escoamento superficial, pelas mudanças climáticas globais e pelos recorrentes eventos climáticos desastrosos (WHO, 2004).

Estas são as razões da exigência de tratamento prévio de toda água superficial e algumas subterrâneas que se destinam ao consumo humano, de modo a assegurar que ela não represente risco à saúde do usuário. Os sistemas de tratamento de água são projetados para remover contaminantes microbiológicos e constituintes químicos que poderiam causar algum dano à saúde, diminuir a aceitabilidade desta água ou facilitar a sobrevivência de microrganismos patogênicos (PEREIRA, 2005).

O aporte de nutrientes nos mananciais de superfície, oriundos das atividades agrícolas nas zonas rurais e do esgoto domiciliar e industrial nas zonas urbanas, tem levado à sua eutrofização. Aliando-se às condições climáticas e hidrogeológicas naturalmente favoráveis encontradas no estado do Ceará, como altas insolação e temperatura e águas neutro-alcálicas, estes fatores, somando-se a necessidade de represamento da água, têm freqüentemente contribuído para o aumento das concentração de fitoplâncton nos mananciais superficiais desta região (PEREIRA, 2005).

Esta pesquisa foi desenvolvida na Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Maranguape que abastece a sede municipal, a qual atende uma população de 63.351 habitantes, com índice de cobertura de 98,91%, sendo que apenas 52.319 habitantes estão interligados ao sistema de abastecimento de água da Cagece (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará).

O presente trabalho levantou, avaliou e comparou os custos de produção de água da ETA, considerando as captações nos dois açudes Gavião e Acarape do Meio que, sazonalmente, abastecem o sistema. Estando este último sujeito a episódios de redução da qualidade de suas águas, devido aos crescentes efeitos da eutrofização sobre o manancial. Neste contexto, procurou-se entender o processo de tratamento, analisando-o com ênfase nas variações impostas pela qualidade da água bruta sobre os parâmetros de custos com energia elétrica, produtos químicos, operação e perda de água nas lavagens dos filtros.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Levantar, avaliar e comparar os custos do tratamento de água na ETA Maranguape a partir da água bruta de dois mananciais: Açude Acarape do Meio e Gavião.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Analisar os dados existentes de qualidade da água bruta dos dois mananciais;
- Levantar os consumos de produtos químicos, energia elétrica da ETA, custo água bruta e perdas de água de lavagem de filtros;
- Avaliar os custos de produção de água tratada frente ao uso da água bruta dos dois mananciais;

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Tundisi *et al.* (1993) fazem considerações sobre a forma de regulação das principais bacias hidrográficas do Brasil, através da construção de reservatórios, os quais isoladamente ou em cascata geram importantes impactos qualitativos e quantitativos nos principais ecossistemas de águas interiores. Inicialmente a construção de hidrelétricas e a reserva de água para diversos fins foi o propósito principal, entretanto nos últimos vinte anos os usos desses sistemas diversificaram, ampliando a sua importância econômica e social (TUNDISI *et al.*, 1993).

As grandes cadeias de reservatórios nas bacias brasileiras apresentam importante significado econômicas, ecológico, hidrológico e social para muitas regiões do país e foram utilizados como base para o desenvolvimento regional, uma vez que são destinados para diversas finalidades, como hidroeletricidade, irrigação, piscicultura, transporte, recreação, turismo e reserva de água para o abastecimento humano (ARCIFA *et al.*, 1981; TUNDISI, 1990).

O Estado do Ceará possui 86,8% de sua área inserida na região do semiárido brasileiro, com risco de seca superior a 60%. Com solos rasos, apresenta a associação petrotectônica denominada de Complexo Gnáissico-Migmatítico que representa o embasamento cristalino, com posicionamento no Proterozóico inferior, rocha matriz cristalina o que dificulta a infiltração, a acumulação de água no subsolo e a formação de aquíferos, as águas subterrâneas acumulam-se em fraturas das rochas, tendo baixa produtividade e grande teor de sais, rios intermitentes, altas temperaturas e insolação intensa. Essas duas últimas características climáticas determinam que embora a precipitação pluviométrica média seja de 800 mm/ano, a evaporação alcance valores de 2.100mm/ano, impedindo a preservação dos volumes de água armazenados na época de chuva e açudes e represas diminuem a disponibilidade de água durante a época de estiagem. Adiciona-se ainda a imprevisibilidade das precipitações, sua distribuição concentrada em poucos meses do ano e a existência de veranicos mais ou menos prolongados durante a estação chuvosa (CEARÁ, 1995). O Ceará, a igual que todo o semiárido, alterna duas estações climáticas distintas: chuvosa (janeiro a maio) e seca (junho a dezembro)



(FUNCEME, 1994).

Os reservatórios do Ceará apresentam-se muitas vezes com elevadas concentrações de poluentes, exigindo um uso crescente de produtos químicos e de tecnologias complexas para a sua potabilização (BARBOSA *et al.*, 2005).

De acordo com estimativas das Nações Unidas, a população mundial aumenta cerca de 100 milhões de indivíduos por ano, e os grandes centros urbanos continuam a crescer de forma acelerada. Todos esses habitantes necessitaram de água potável para garantia de sua existência e gerará, a cada dia, maiores cargas de nitrogênio, fósforo e carbono orgânico. Para suprir a necessidade de alimentos para as populações, a agricultura fertilizada e a criação de animais gerarão mais despejos orgânicos ricos em nutrientes, que terão como destino final rios, lagos, estuários e reservatórios (UNEP-IETC, 2001).

A eutrofização é um dos mais importantes impactos qualitativos e quantitativos em rios, lagos e reservatórios podem ser um processo natural ou provocado por ações antrópicas, sendo esta última denominada de eutrofização artificial. As principais causas deste fenômeno estão relacionadas com as entradas de águas residuárias domésticas e industriais, a drenagem superficial, contribuição de fertilizantes utilizados na agricultura, erosão do solo e o uso de detergentes não biodegradáveis (TUNDISI & TUNDISI, 2008). Deve-se ressaltar que fatores morfológicos, hidrológicos e climatológicos também influenciam nas condições de trofia de ecossistemas aquáticos (ODUM, 1971).

Devido ao crescimento da poluição ambiental registrada nas últimas décadas, a eutrofização artificial vem recebendo maior atenção por parte da comunidade científica, órgãos de controle ambiental, concessionárias de energia e saneamento. Esta preocupação decorre da necessidade do controle desse processo, como forma de garantir a disponibilidade de água para os usos múltiplos a que os recursos hídricos são destinados (ESTEVES, 1998; XAVIER *et al.*, 2005).

Os usos do solo e da água na bacia hidrográfica são determinantes para o estabelecimento das características dos ecossistemas aquáticos. Na área de influência dos reservatórios são inúmeras as atividades desenvolvidas, como a agricultura extensiva, utilização de fertilizantes inorgânicos, atividades industriais, ocorrendo a geração, transporte e o lançamento de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, para o interior dos ecossistemas aquáticos, acelerando o processo de eutrofização. Embora os focos pontuais e difusos de macronutrientes sejam contribuintes para a eutrofização, os não pontuais normalmente são dominantes e representam desafios para o gerenciamento (UNEP-IETC, 2001).

Em função das concentrações de nutrientes e/ou das manifestações ecológicas verificadas em lagos e reservatórios, esses ambientes podem ser classificados de forma genérica, como ultra-oligotrófico, oligotróficos, mesotrófico, eutrófico ou hipereutrófico, sendo utilizado para a caracterização do seu estado trófico vários índices (CARLSON, 1977; SALAS & MARTINO, 1991; KRATZER & BREZONIK, 1981; TOLEDO Jr. *et al.*, 1983).

Como principais consequências da eutrofização podem ser destacadas alterações no padrão de oxigenação, florações de algas, cianobactérias e macrófitas aquáticas, a perda da biodiversidade e da atração paisagística, restrições aos usos da água, efeitos sobre a saúde humana e aumento nos custos para o tratamento da água (TRORNTON *et al.*, 1990; DI BERNARDO, 1995; ESTEVES, 1998; CHORUS & BARTRAM, 1999; TUNDISI, 2005).

Com a aceleração do processo de eutrofização ocorrem mudanças significativas no ciclo de nutrientes, refletindo-se diretamente na qualidade da água dos reservatórios. Com o aumento da disponibilidade de nutrientes ocorre um crescimento excessivo do fitoplâncton e como consequência do processo de decomposição da material orgânica ocorre uma depleção significativa do oxigênio dissolvido, podendo ocasionar a morte das comunidades aquáticas aeróbias, gerando a perda da qualidade cênica do ambiente e o aumento da incidência de cianobactérias (KORTMANN, 1994; CHORUS & BARTRAM, 1999).

Dos 124 gêneros de cianobactérias conhecidos, pelo menos 40 gêneros distintos incluem espécies produtoras de toxinas (APELDOORN *et al.*, 2007). De acordo com uma revisão realizada por Sant'Anna *et al.*, (2008), já foram identificados no Brasil 32 espécies de cianobactérias comprovadamente produtoras de toxinas, sendo os gêneros *Microcystis* e *Anabaena*, na região tropical brasileira, os que apresentaram maior número de espécies tóxicas. Os gêneros mais comuns formadores de florações são *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis* e *Planktothrix* (SAKER *et al.*, 1999; AZEVEDO, 2000).

Teixeira *et al.*, (1993), apresentam forte evidência da correlação entre a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Itaparica na Bahia e a morte de 88 pessoas, dentre as 200 intoxicadas pelo consumo de água do reservatório, entre os meses de março e abril de 1988. No entanto, somente após a comprovação de que a morte de aproximadamente 54 pacientes de uma clínica de hemodiálise em Caruaru, PE em 1996 foi devido à utilização de água contaminada com cianotoxinas hepatotóxicas é que as cianobactérias passaram a ter atenção especial por parte dos órgãos de controle ambiental e de saúde e das companhias de saneamento (AZEVEDO & VASCONCELOS, 2006).

Estudos realizados em 39 reservatórios da região Nordeste evidenciaram que em 27 destes houve predominância de *Cylindrospermopsis*, cianobactéria produtora de neurotoxinas (BOUVY *et al.*, 2000). Chellappa *et al.*, (2000) e Costa *et al.*, (2001), também registraram a mortandade de peixes em reservatórios localizados no estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil, possivelmente associadas a florações tóxicas de cianobactérias.

As cianotoxinas são principalmente endotoxinas, liberadas para o meio externo por rompimento da parede celular, o que acontece por senescência das células ou sob a ação de algicidas ou em situações de estresse e morte celular (YOO *et al.*, 1995).

De acordo com Hyenstrand *et al.*, (1998) dentre os fatores ambientais mais importantes para desenvolvimento inicial das diferentes populações de

cianobactérias no ambiente aquático, destacam-se os nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo.

O fósforo é geralmente o nutriente limitante ao crescimento fitoplanctônico em ecossistemas aquáticos tropicais, sendo a sua quantidade requerida pela biomassa algal equivalente a 14% da demanda para o nitrogênio (CHORUS & MUR, 1999).

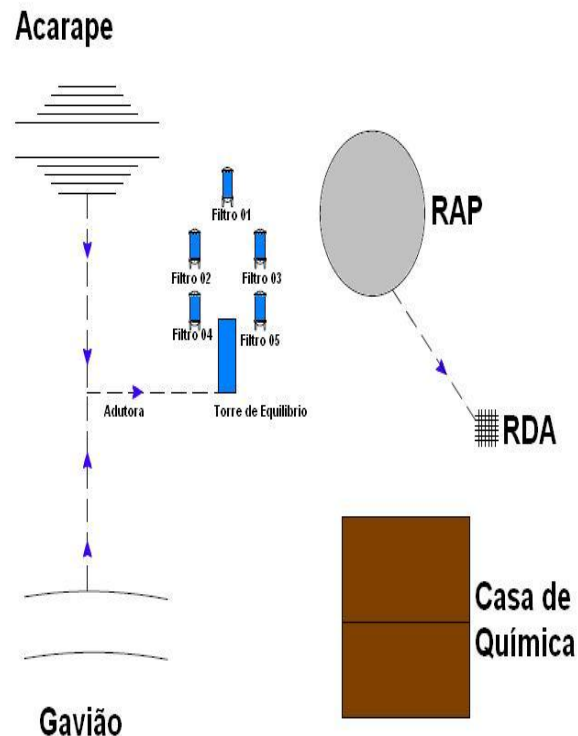
As atividades antrópicas têm incrementado as concentrações de nitrogênio e fósforo nos ambientes aquáticos, sendo que a quantidade, a proporção e a composição química dos nutrientes podem influenciar a magnitude, a duração e a composição das florações (PAERL, 2008).

Pode-se expressar a razão N:P de diversas formas, incluindo o cálculo do número de átomos de ambos os nutrientes nas suas diversas frações, dissolvidos, particulada ou total, dependendo da natureza e objetivos dos estudos. Barica (1990), estudando a variação sazonal da razão N:P em lagos eutróficos, concluiu ser a razão N:P total, na qual soma-se os nutrientes particulados e dissolvidos, a forma mais prática para a caracterização de lagos. A razão estequiométrica entre os macronutrientes (fósforo, nitrogênio e carbono) indica que para a manutenção do citoplasma da maioria dos organismos fitoplanctônicos é assimilado cerca de 1 mol de fósforo e 16 moles de nitrogênio para cada 106 moles de carbono (REDFIELD, 1958).

### 3.1 Tecnologias de Tratamento de Água

Conforme pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE (2002), as tecnologias de tratamento de águas para abastecimento público podem ser do tipo convencional (ou ciclo completo) - que incluem todas as etapas tradicionais do processo como coagulação, floculação, decantação e filtração - e não convencional, incluindo a filtração direta ascendente (FDA), filtração direta descendente (FDD), a dupla filtração (DF) e filtração lenta (FL), como ilustrado na figura 1. A simples desinfecção não é mais considerada tecnologia de tratamento para águas superficiais, sendo aplicada apenas em águas subterrâneas que apresentem condições naturais organoleticamente agradáveis e sanitariamente seguras (DI BERNARDO, 2002).

Figura 1. Organograma da Estação de Tratamento de Água, estudada.



A presença de florações de organismos fitoplantônicos e seus subprodutos em rios, lagos e reservatórios destinados ao abastecimento, interfere diretamente na qualidade da água, podendo introduzir efeitos negativos tanto de ordens estética e organoléptica (odor e sabor) como de saúde pública devido à produção de compostos potencialmente tóxicos e carcinogênicos. As alterações na qualidade da água para abastecimento, devido à presença desses organismos, introduzem dificuldades diversas, podendo comprometer seriamente o funcionamento das estações de tratamento de água ou sistemas de abastecimento, caso estes não estejam preparados para inativá-los ou removê-los (DI BERNARDO, 2008a).

Dentre as tecnologias usuais de tratamento para abastecimento público, a filtração direta é a que apresenta menor custo de implantação, tendo, contudo a necessidade de se levar em consideração que somente é eficiente para o tratamento de águas brutas com até um limite da quantidade de matéria em suspensão e substâncias dissolvida. Se as características físico-químicas e bacteriológicas da água bruta não permitirem assegurar sua potabilidade por filtração direta, faz-se necessário o emprego do tratamento em ciclo completo, e às vezes, tratamentos complementares. Assim, a escolha da tecnologia de tratamento depende basicamente da qualidade da água bruta e da qualidade desejada para o efluente final. Além da tecnologia apropriada, a ETA precisa ser projetada, construída e, principalmente, operada corretamente.

No tratamento de águas para o abastecimento público, o cloro é o agente desinfetante e oxidante mais utilizado no mundo, por apresentar elevada efetividade na inativação de extensa gama de patógenos comumente encontrados na água, pela possibilidade de manutenção de concentração residual (barreira sanitária), pela simplicidade operacional e pelo baixo custo (DI BERNARDO, 2008b).

### **3.2 Custos de Operação e Manutenção**

Os serviços públicos de abastecimento devem sempre fornecer água de boa qualidade (RICHTER, 2007). Para manter a qualidade da água tratada, uma Estação de Tratamento de Água pode passar por mudanças na sua estrutura física, como também nos produtos químicos utilizados (CONSTATINO, 2009).

As dificuldades operacionais do tratamento de água por tecnologia do tipo filtração direta ascendente que são impostas pela água Eutrofizada, implicam em maior atenção dos operadores nos ajuste da ETA, em especial quanto à regulação da dosagem de produtos químicos e maior frequência de lavagens dos filtros. Ademais, os custos de operação e manutenção de uma ETA estão relacionados à conservação da totalidade das instalações e equipamentos previstos na produção de água potável.

Assim, em função das unidades envolvidas, são requeridas ações específicas de operação e manutenção gerando gastos variados. Esses custos são influenciados por: mão de obra, produtos químicos, energia elétrica, monitoramento da qualidade da água, manutenção de equipamentos, perda de água na limpeza das unidades, além do tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos gerados nas ETAs.

#### **3.2.1 Perdas de água nas lavagens dos filtros**

A operação das ETAs requer periodicamente a paralisação das unidades que compõem o sistema para limpeza dos filtros, visando à eficiência na produção e qualidade da água tratada para atender aos padrões de potabilidade exigidos pela legislação. O processo de lavagens dos filtros necessita de água tratada visando seu ótimo funcionamento na produção de água potável. O tempo ideal para lavagens dos filtros com a tecnologia do tipo filtração direta ascendente é de 10 minutos por lavagens do filtro segundo Sabogal Paz (2007). Na Cagece este tempo é adotado em média de 10 a 15 minutos.

A frequência de lavagens dos filtros pode ser feitas diversas vezes de acordo com a perda de produção e de qualidade da água tratada na ETA. A

qualidade da água bruta do manancial de captação influencia nas perdas por requerer mais periodicidades no processo de lavagens os filtros.

### 3.2.2 Produtos Químicos

Os custos são gerados pela compra dos produtos químicos empregados no tratamento da água, como coagulantes, polímeros e desinfetantes. Os produtos químicos utilizados nas ETAs da Cagece são: Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio, Cloro Gás e Fluossilicato de Sódio. Sendo que o Cloreto de Sódio só é utilizado nas ETAs que possuem fábricas de cloro, para substituir ou complementar os outros desinfetantes.

Um dos primeiros passos no processo de tratamento de água do manancial é a coagulação química. Dada a importância da coagulação, são feitos estudos quanto ao coagulantes mais adequado para determinado tipo de água bruta, bem como em relação às dosagens necessárias. Caso esta etapa de coagulação não tenha êxito, todas as demais estarão prejudicadas, a ponto de, em certas situações, obrigar o descarte de toda a água da ETA, por estar fora dos padrões de potabilidade (CARVALHO, 2008).

Quanto à etapa de desinfecção, um dos produtos mais usados é o cloro, seja na forma de hipoclorito (de cálcio ou de sódio) ou gás cloro. Uma das formas disponíveis de obtenção desse desinfetante é a produção *in loco* do cloro de forma contínua. O processo é realizado por um eletrolisador que a partir de uma solução de NaCl converte através de reações eletroquímicas produtos contendo íons hipoclorito e em equilíbrio com ácido hipocloroso. Esta tecnologia alternativa tem se mostrado bastante promissora. A produção de hipoclorito de sódio é obtida através de um eletrolisador comercial, disponível no mercado brasileiro, com diversas capacidades produtoras. O eletrolisador é alimentado com salmoura, a qual é preparada pela dissolução de cloreto de sódio em água. A fonte de tensão elétrica (corrente contínua) desencadeia o processo de eletrólise, gerando Cl<sub>2</sub> no ânodo e H<sub>2</sub> no cátodo. No seio da solução ocorre a reação química do gás cloro com os íons hidroxila, gerando o íon hipoclorito OCl<sup>-</sup>. (LIMA, 2004)



### **3.2.3 Energia Elétrica**

O fornecimento em média e alta tensão tem formas diferentes de contratação, conforme a legislação, sendo que, dependendo da carga do consumidor, a opção por uma delas é compulsórias em alguns casos particulares pode ficar a critério do consumidor. Basicamente, o grupo A define sua tarifa segundo segmento horo-sazonais (horário de ponta ou fora dela) e modalidade tarifária período seco ou úmido.

Segundo Gomes (2005) e Coura (2007) os gastos com energia elétrica em muitas companhias de saneamento básico representam o segundo maior custo, ficando atrás somente dos gastos com mão de obra. Os desperdícios de energia elétrica nos sistemas de abastecimentos de água são decorrentes de formas contratuais indevidas, procedimentos operacionais inadequados.

Segundo a Associação Brasileira de Água e Energia – ABAE (2008), a energia consumida no planeta para distribuir água é de aproximadamente 7% do consumo mundial.

## **4 MATERIAL E MÉTODO**

### **4.1 Características da Área de Estudo**

A cidade de Maranguape situa-se na região nordeste do Estado do Ceará, com coordenadas geográficas de 3° 53` 27 de latitude (s) e 34° 41` 08 de longitude (w). Limita-se com os municípios de Maracanaú, Caucaia (Norte), Guaiúba, Pacatuba, Maracanaú (Leste), Caridade, Palmácia, Guaiúba (Sul), Pentecoste, Caridade (Oeste). Possui área aproximada de 590,82 km<sup>2</sup>, tendo área relativa de 0,40% frente ao Estado do Ceará. Está situada a uma altitude de 68,6m acima do nível do mar e distante 28 km da capital Fortaleza.

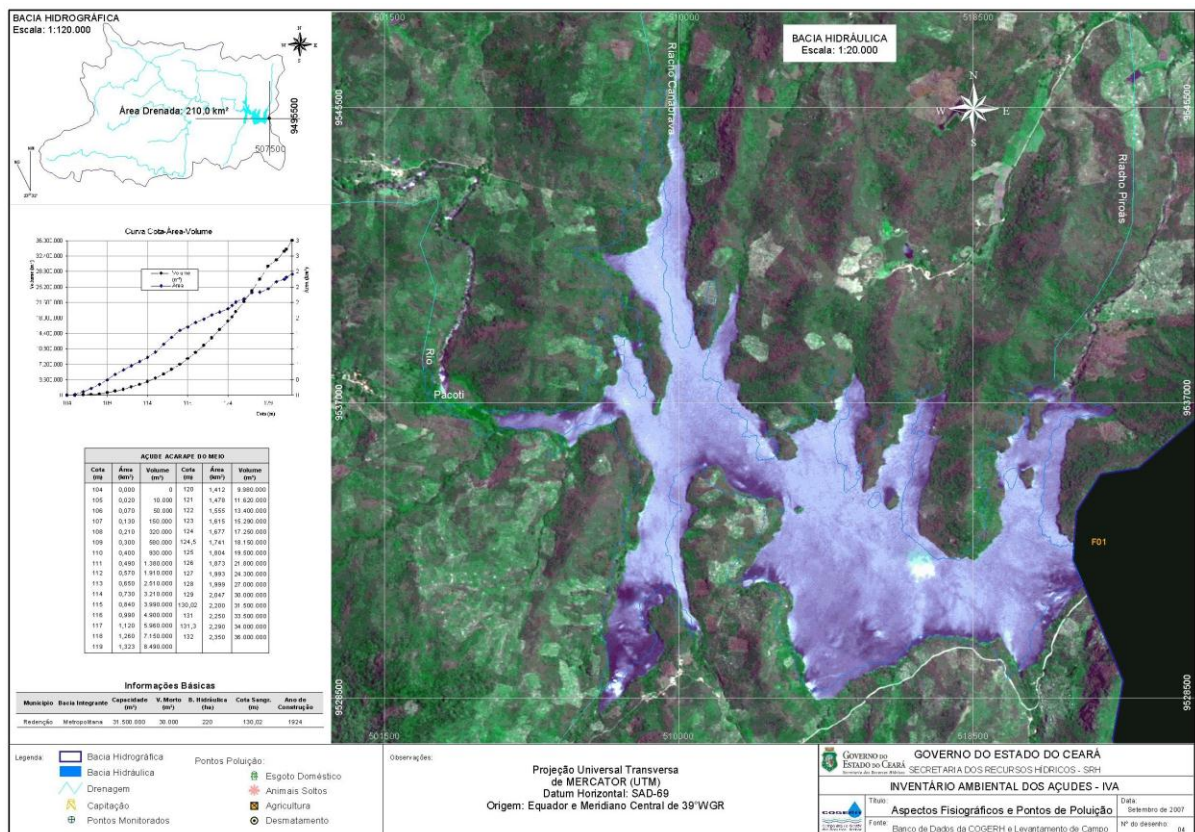
Segundo o IBGE (2010), a densidade demográfica é de 135,20 hab/km<sup>2</sup>, a taxa de urbanização é de 74,05% e a população total residente no município de Maranguape é de 113.561 habitantes, sendo que 86.309 residem em área urbana e 27.254 residem em área rural. A estimativa populacional para a área urbana no ano de 2012 era de 117.306 pessoas (IBGE: População residente 2010)

De acordo com os dados do IPECE, o clima predominante na região é tropical quente úmido. As temperaturas médias de 26° a 28° C. A pluviosidade média é de 1.378,9 mm/ano e o período chuvoso compreende os meses de janeiro a maio.

## 4.2 Açude Acarape do Meio

O açude Acarape do Meio é um dos principais reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Estado do Ceará (Figura 02). O reservatório foi formado a partir do barramento do rio Pacoti, rio que nasce na Serra de Baturité e percorre 112,5 Km no sentido sudoeste/nordeste, dos quais o primeiro terço com declividade acentuada da ordem de 2%, sendo essa reduzida para 0,1% na parcela a jusante, demonstrando um relevo mais suave (SRH-CE, 2001).

Figura 2. Localização e delimitação da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio. (SRH/COGERH, 2007)



O açude teve sua construção iniciada em 1909 sendo concluída em 1924. Inicialmente o reservatório foi propriedade do DNOCS, que posteriormente passou à responsabilidade para o município de Redenção, onde a obra esta localizada. O açude Acarape do Meio está distante cerca de 75 Km de Fortaleza, situada nas coordenadas geográficas 04°11,601'S / 38°47,949'W, possui uma bacia hidrográfica que cobre uma área de 210,01 Km<sup>2</sup>. Atualmente está sob gerenciamento da

Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), responsável por gerenciar mais de 90% das águas acumuladas no Ceará (COGERH, 2007).

O reservatório esta localizado na serra de Baturité a altitude é de 250 m. Sua capacidade de acumulação é 31,5 hm<sup>3</sup>, com bacia hidráulica de apenas 2,29 Km<sup>2</sup> (DATSENKO, 1999). Um vertedouro com 60 m de largura e lâmina máxima de 1,7 m, possui cota máxima de 130,0 m, com tomada de água do tipo galeria e vazão regularizada de 0,15 m<sup>3</sup>/s (CEARÀ, 2001).

Evidencia-se na região o desenvolvimento de agricultura rudimentar de sequeiro, com plantio de milho, feijão, banana e café, notadamente pelas boas condições do solo. O crescimento desordenado dos núcleos urbanos existentes nas serras de Maranguape e Baturité vem contribuindo para a degradação de sua cobertura vegetal (RIBEIRO, 2007).

O açude Acarape do Meio encontra-se entre o estado eutrófico e oligotrófico. Em cenários simulados por Lima (2007), em estudos da evolução das concentrações de fósforo e clorofila – a no referido açude, comprovaram que as suas águas tem evoluído negativamente com relação à eutrofização ou seja a qualidade da água sofre uma deteriorização na medida em que o volume armazenado é reduzido.

O açude faz parte do sistema de abastecimento de água da região Metropolitana de Fortaleza, e é responsável pelo abastecimento de água bruta do Distrito Industrial de Maracanaú e das cidades de Pacatuba, Guaiúba, Maranguape, Redenção, Acarape, Barreira e do distrito de Antônio Diogo, além da perenização de vale entre os municípios de Redenção e Acarape (CEARA, 2001). A população abastecida pelo reservatório é de 72.339 hab. Quando o açude está com a sua capacidade de acumulação comprometida, o açude Gavião é usado para abastecimento.

### 4.3 Açude Gavião

O açude Gavião está localizado no Estado do Ceará, no município de Pacatuba, possui capacidade de armazenamento de 32,9 hm<sup>3</sup> e área da bacia hidráulica e hidrográfica de 07 e 97 Km<sup>2</sup>, respectivamente.

O açude Gavião (Figura 3) tem origem a partir do barramento do Rio Cocó, localizado a montante da Estação de Tratamento de Água - ETA, responsável pelo abastecimento de água potável da região metropolitana de Fortaleza incluindo os municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú e Eusébio.

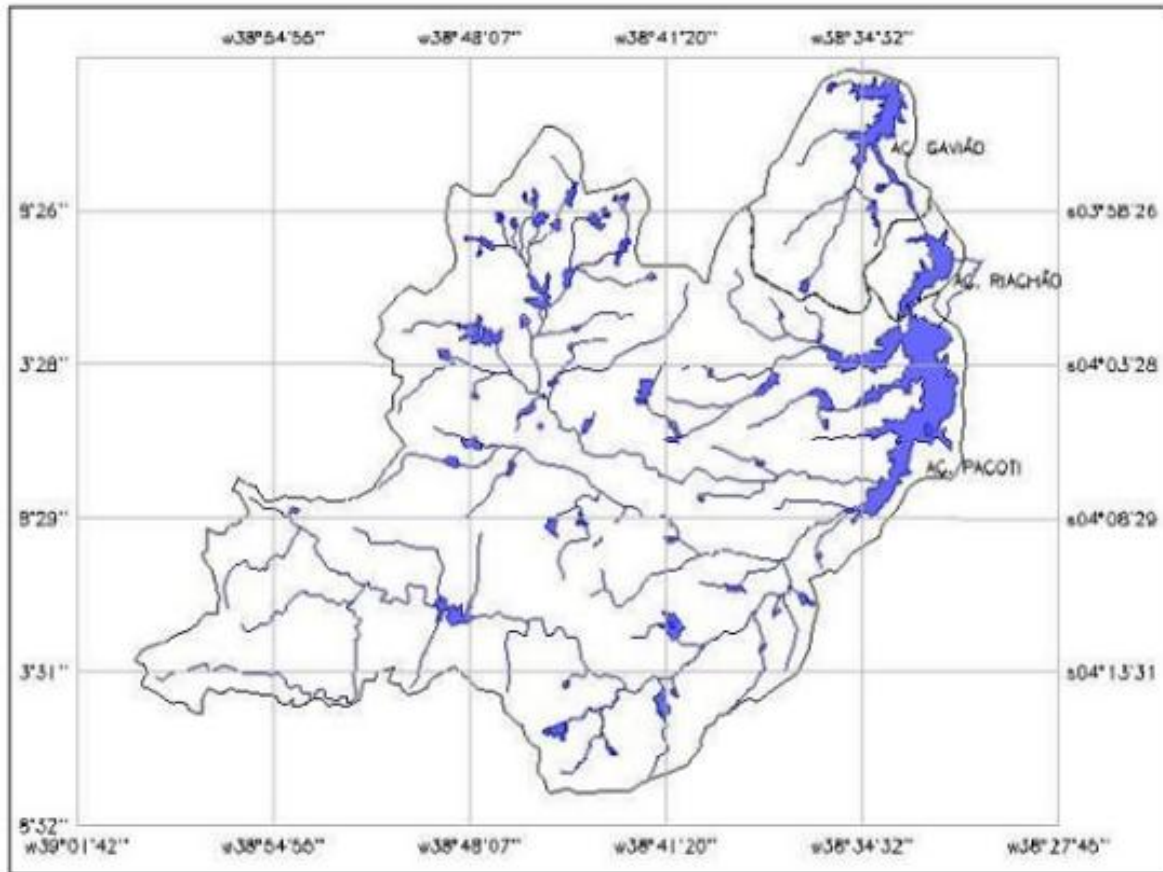
Ocasionalmente o manancial também atende Distrito Industrial, em Maracanaú, e as cidades de Maranguape e Pacatuba. É um reservatório estratégico do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza – SAABRMF.

De acordo com Salas & Martino (2001), a concentração de fósforo total presente na água pode caracterizar os corpos hídricos em diferentes categorias tróficas. Estes autores utilizam as seguintes categorias para classificação com base na concentração de fósforo total (µg/L): Oligotrófico ≤ 28, Mesotrófico 28 – 72 e Eutrófico ≥ 72.

Com base na média anual da concentração de fósforo total de 0,369mg/L, levantada por Vidal (2011), pode-se classificar o reservatório Gavião como eutrofizado, uma vez que se apresentava bem superior ao limite de 72 µg/L estabelecido pelos autores mencionados anteriormente.

Já Freire (2007) obteve valores médios entre 0,086 e 2,421 mg/L de fósforo total e Braga (2006) encontrou uma distribuição temporal do concentração do mesmo parâmetro, valores em torno de 0,013 e 0,131 mg/L. O histórico da concentração de fósforo encontrada no referido açude, uma vez que as concentrações médias monitoradas estão ascendente percebe-se que o manancial encontra-se em estado eutrofizado.

Figura 3- Delimitação da bacia hidrográfica do açude Gavião em série com os açudes Pacoti e Riachão. (SRH/FUNCEME/PROURB-RH, 2002).





#### 4.4 Estação de Tratamento de Água de Maranguape

A Estação de Tratamento de Água de Maranguape está localizada na Rua Benedito Prata, Nº 740, bairro Guanabara. A água bruta é captada através de uma derivação na adutora que Interliga a açude Acarape do Meio e Gavião, sendo aduzida por uma extensão de 12,30 km numa adutora com diâmetro de 400 mm em ferro fundido. A ETA é composta de cinco filtros rápidos ascendentes, com diâmetro de 4,00m com uma capacidade de tratamento de 138 l/s cada (taxa de filtração =  $190\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ ). A água bruta passa pelas seguintes etapas de tratamento: Pré-oxidação com hipoclorito de cálcio, coagulação com cloreto de polialumínio e polímero catiônico, filtração e desinfecção com ácido hipocloroso produzido a partir de cloreto de sódio na usina geradora instalada na ETA.

Cada filtro da ETA é lavado diariamente por 15 minutos através de conjunto motor-bomba 40 CV quando a captação é feita no açude Gavião e, quando é alimentada pelo açude Acarape do Meio, os filtros são lavados duas vezes ao dia durante 10 minutos cada. As descargas das águas residuárias oriundas das lavagens são lançadas em um terreno próximo à ETA que deságua no riacho Gavião e posteriormente no rio Maranguapinho. A estação possui 4 operadores e funciona 24 horas por dia em regime de plantão de 12 por 36 hs e atualmente abastece 17.587 ligações e atende cerca de 87 mil pessoas.

No período estudado foi observado que o sistema de abastecimento de água de Maranguape tem um incremento médio de mil novas ligações domiciliares de água por ano, fazendo com o que a vazão projetada seja alcançada antes do horizonte de projeto que é ano 2018 (Cagece, 2013, dados não Publicados)

Figura – 4 Croqui do Sistema de Abastecimento de Água de Maranguape

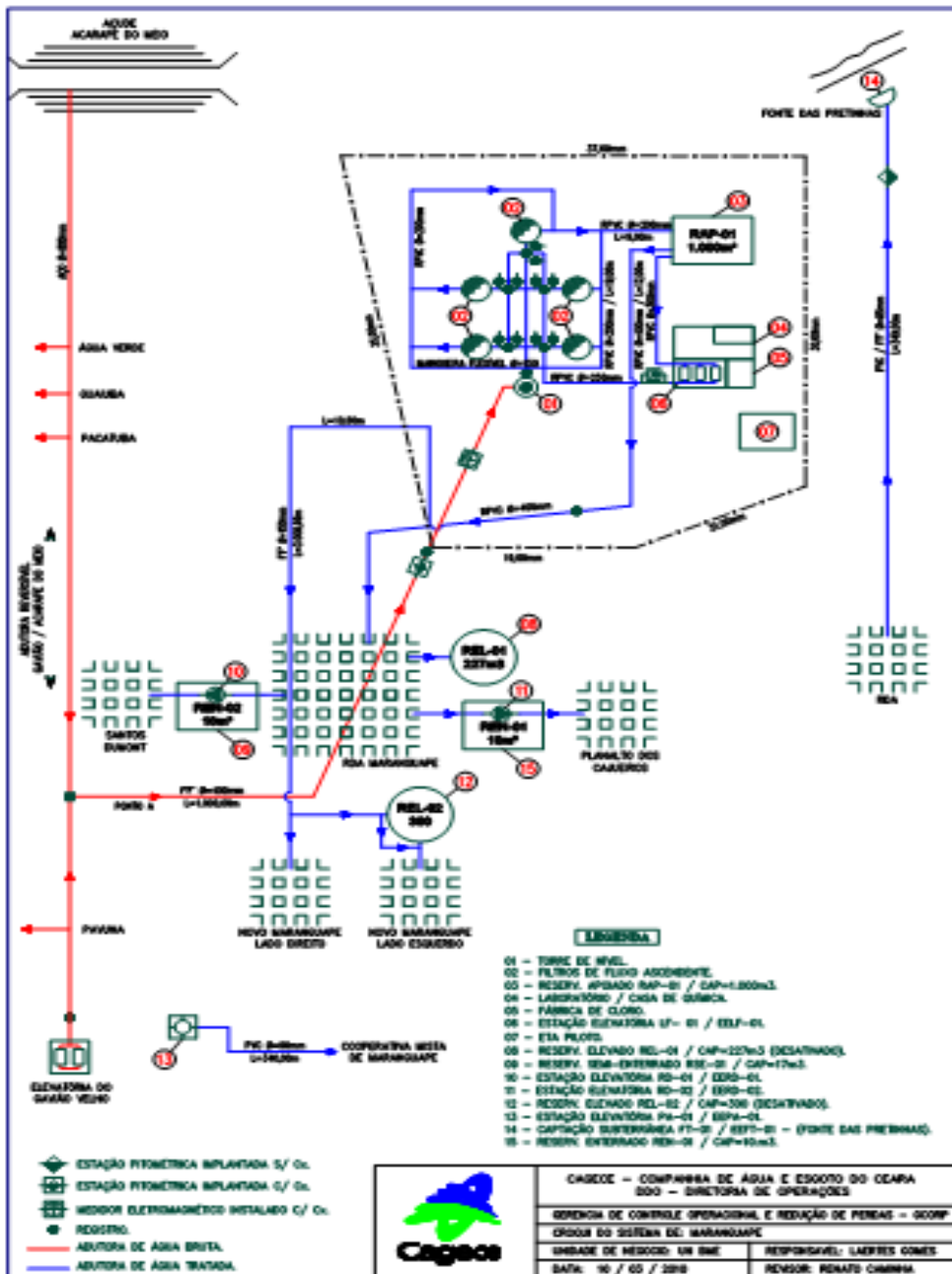




Figura – 5: Imagem de satélite da ETA Maranguape



#### 4.5 Ferramentas Utilizadas

Os dados levantados foram tabelados e organizados em uma base de dados, utilizando-se o software de banco de dados Microsoft Access, para posteriores análises estatísticas e gráficas com uso do Microsoft Excell.

As informações da pesquisa foram levantadas nos sistemas da CAGECE sobre a responsabilidade da Gerencia de Desenvolvimento Operacional Pesquisa e Inovação – GDOPI que é responsável pelo desenvolvimento e controle operacional dos sistemas da companhia e da Unidade de Negocio da Bacia Metropolitana UN-

BME a qual é responsável pela gestão e operação do sistema de abastecimento de Maranguape. Os custos e consumos dos produtos químicos, energia elétrica, água bruta e perdas na ETA foram levantadas e analisadas através das informações coletadas no Sistema de Controle Operacional - SCO e *in loco* na estação de tratamento de água, com os operadores e o supervisor de produção responsável pelo controle operacional da ETA.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Qualidade da Água Bruta (Cor e Turbidez)

A cor é geralmente um indicador da presença de metais (Fe, Mn), húmus (matéria orgânica oriunda da degradação de matéria de origem vegetal), plâncton (conjunto de plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas) dentre outras substâncias dissolvidas na água.

A turbidez é uma medida do espalhamento de luz produzido pela presença de partículas coloidais ou em suspensão e é expressa como unidade nefelométrica de turbidez. A turbidez é um parâmetro indicador da possível presença de argila, silt, substâncias orgânicas (Ex: húmus) ou inorgânicas (Ex: óxidos) finamente divididas, plâncton e algas. A turbidez das águas naturais superficiais é decorrente do carreamento de solos (processos erosivos em estações chuvosas), esgotos sanitários e efluentes industriais e fontes difusas.

As Figuras 6 e 7 mostram a variação da cor e turbidez na água bruta entre os mananciais, comparando com a precipitação do período. Nos meses de abril a outubro de 2010, janeiro de 2011 e junho a outubro de 2012 a ETA recebeu água do açude Acarape do Meio, enquanto no segundo período recebeu água bruta do açude Gavião. Observa-se não haver variação significativa nos parâmetros para os mesmos, não sendo conclusiva qual captação seja mais eficiente na estação de tratamento de água.

No período chuvoso foi registrado um valor máximo de turbidez de 6 uT para água do açude Acarape do Meio e 10 uT para água do açude Gavião, a média de turbidez é de 3 uT para água de ambos açudes após o período chuvoso. A cor aparente na água é fortemente influenciada pela contribuição de matéria orgânica no manancial no período chuvoso, obteve-se os maiores valores de cor de 70 uH para água do açude Acarape do Meio e 75 uH para água do açude Gavião. Após as chuvas a média de cor aparente do Acarape do Meio foi de 60 uH e 40 uH para água do açude Gavião.

Figura - 6: Variação da turbidez da água com a precipitação ocorrida nos açudes Acarape do Meio e Gavião no período do estudo.

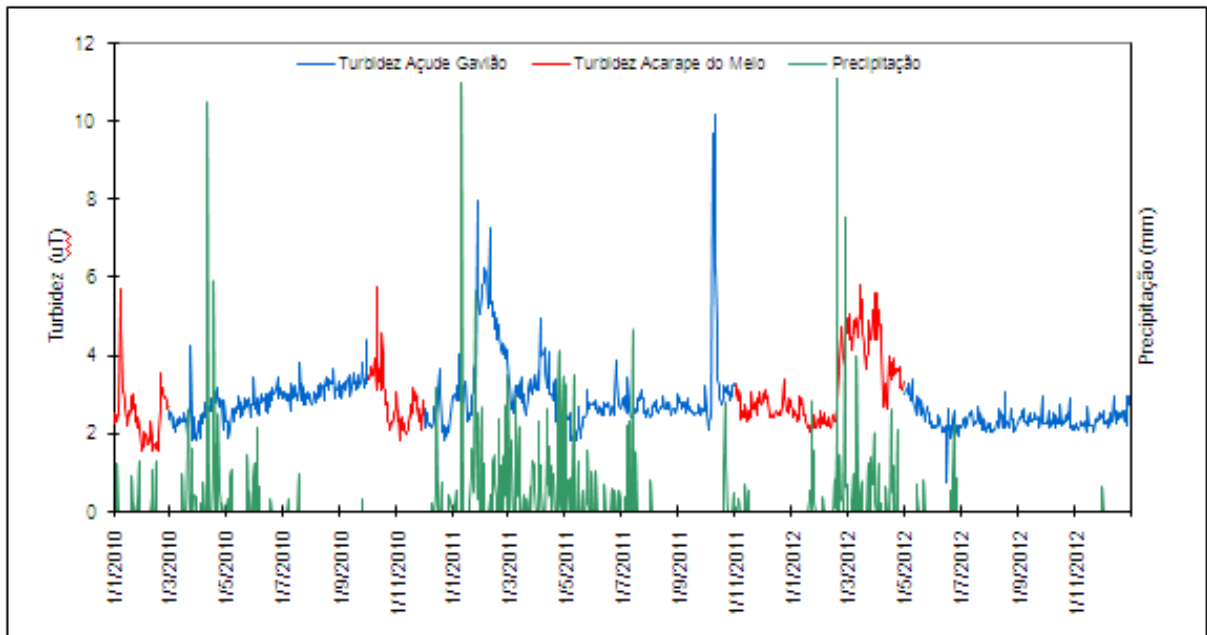
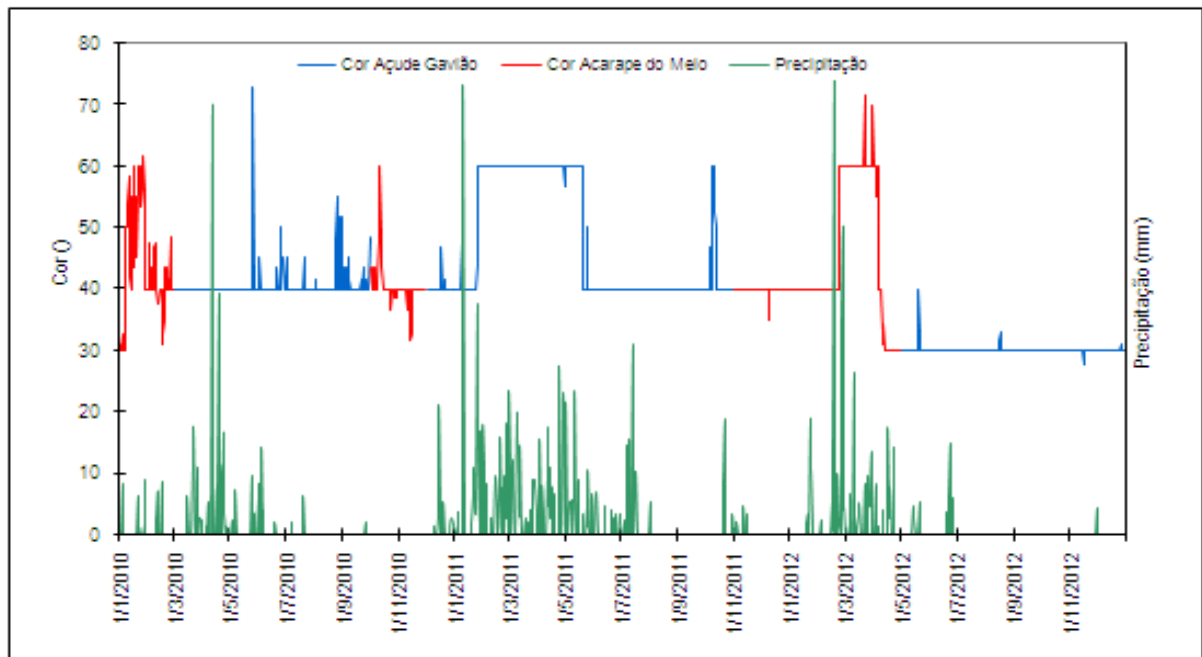


Figura – 7: Variação na cor da água com a precipitação ocorrida nos açudes Acarape do Meio e Gavião no período do estudo.



## 5.2 Consumo de Produtos Químicos

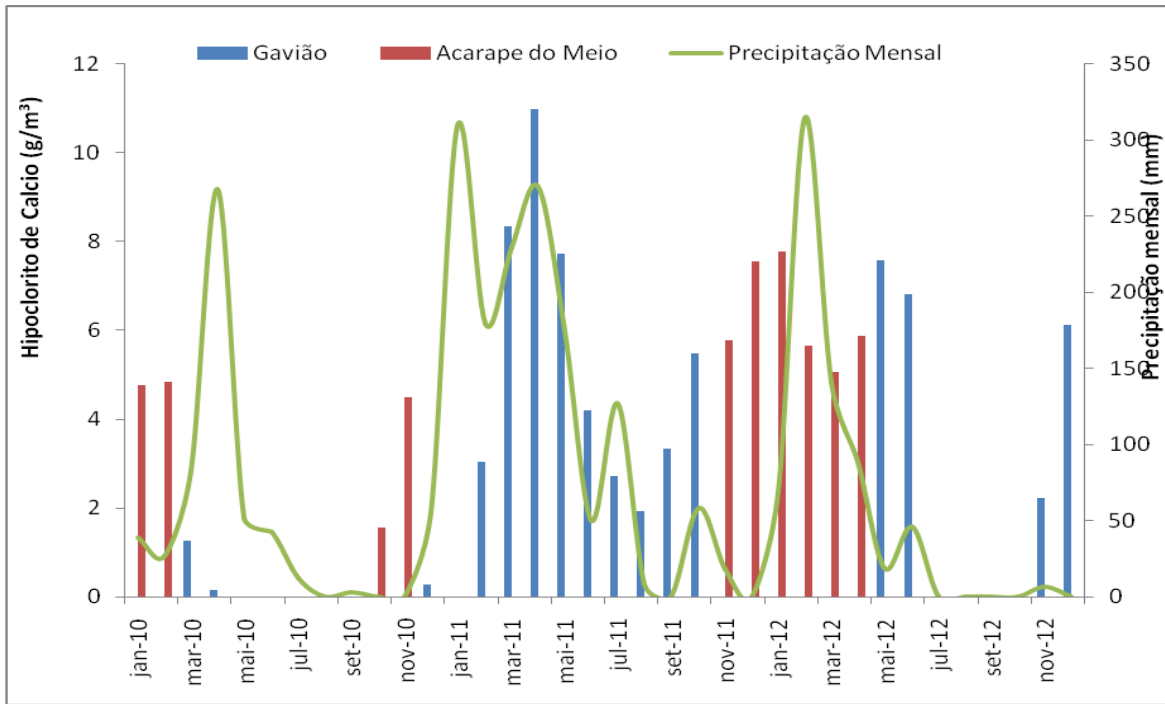
A Figura 8 mostra a dosagem de hipoclorito de cálcio na pré-cloração da água bruta afluyente à ETA Maranguape comparando o período de precipitações. Nos meses de abril a outubro de 2010, janeiro de 2011 e junho a outubro de 2012, a ETA não recebeu pré-cloração por falta de hipoclorito de cálcio e a produção na fabrica de cloro não tem vazão suficiente para atender a pré-cloração e desinfecção da água filtrada.

Problemas no fornecimento do hipoclorito de cálcio, devido à mora dos processos licitatórios e o monopólio do fabricante do produto que dita o preço de mercado, torna mais confiável a aquisição de usinas de cloro alimentadas por cloreto de sódio, produto facilmente comprado no comercio local, facilitando a logística para aquisição.

Segundo Lima (2004), para avaliar os custos operacionais da fabrica de cloro e funcionamentos dos equipamentos foram estudados os seguintes parâmetros: vazões das soluções concentrada e diluída de cloreto de sódio, teor de cloretos das soluções e da água bruta e tratada, consumo de energia, percentual de cloro ativo da solução gerada, além de diversos medições físico-químicas : pH, cor, turbidez, cloro residual, temperatura. De acordo com os resultados obtidos, observou-se que o equipamento apresentou alto nível de segurança operacional, mantendo uma produção uniforme de cloro ativo, com fácil operação e manutenção, viável para suprir a demanda de cloro da estação de tratamento de água de Maranguape-CE e com custos bem inferiores a os outros desinfetantes.

No período chuvoso para as duas captações observa-se tendência de aumento na dosagem de hipoclorito de cálcio na pré-cloração da ETA.

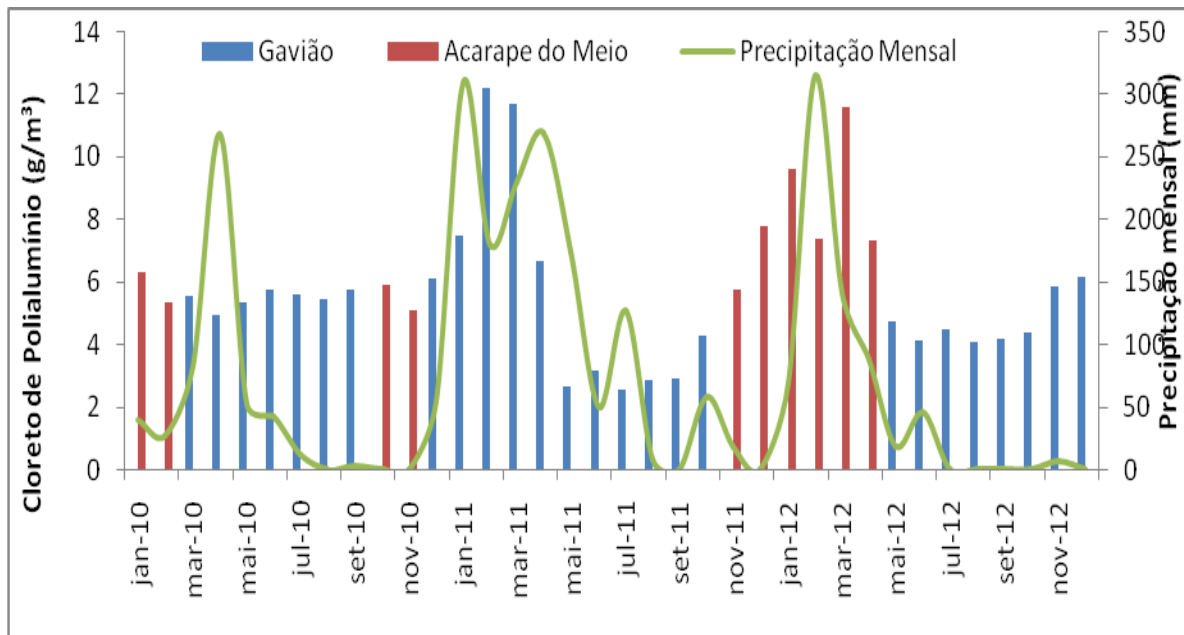
Figura - 8: Dosagem de Hipoclorito de Cálcio na Pré-cloração da ETA, para água do Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.



A Figura 9 mostra a dosagem de PAC na água bruta afluyente à ETA Maranguape comparando o período de precipitações. Nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e novembro de 2010 e novembro de 2011 a abril de 2012, a ETA recebeu água do açude Acarape do Meio. Observa-se que no primeiro período a dosagem ficou em média de  $7,21\text{mg}/\text{m}^3$ , enquanto no segundo período recebendo água bruta do açude Gavião a média do consumo de PAC ficou em  $5,34\text{mg}^3$  a dosagem média significativamente menor.

Houve aumento no consumo do Policloreto de Alumínio no período chuvoso, com exceção do ano de 2010 o qual a dosagem permaneceu estável em  $6\text{mg}/\text{m}^3$  para água bruta dos dois açudes, já nos período chuvoso de janeiro a maio dos anos de 2011 e 2012 o consumo máximo de Policloreto de alumínio chegou a  $12\text{mg}/\text{m}^3$  tanto para água do açude Gavião quanto para água do açude Acarape do Meio.

Figura 9: Dosagem de PAC-23, para água do Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.



A Figura 10 mostra a dosagem de Polímero Catiônico na água bruta afluyente à ETA Maranguape comparando com o período de precipitações. Nos meses marcados em vermelho janeiro, fevereiro, outubro e novembro de 2010 e novembro de 2011 a abril de 2012, a ETA recebeu água do açude Acarape do Meio. Observa-se que no primeiro período a dosagem ficou em média de  $2,44\text{mg/m}^3$ , enquanto no segundo período recebendo água bruta do açude Gavião a média do consumo de Polímero ficou em  $1,51\text{mg/m}^3$ , dosagem média significativamente menor.

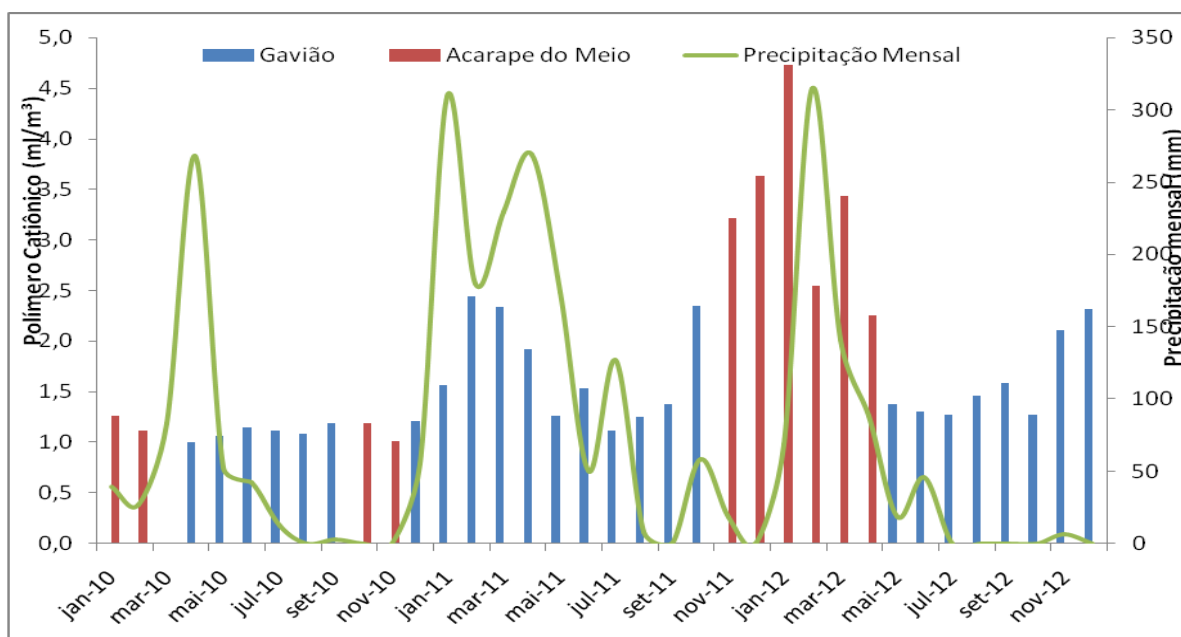
Houve aumento no consumo do Polímero Catiônico no período chuvoso, com exceção do ano de 2010 o qual a dosagem permaneceu estável para água bruta dos dois açudes, já nos período chuvoso de janeiro a maio do ano de 2011 para água do açude Gavião o consumo máximo de Polímero Catiônico chegou a  $2,5\text{ml/m}^3$  enquanto nos meses de janeiro a maio de 2012 para água do açude Acarape do Meio a dosagem máxima ficou em  $4,5\text{ml/m}^3$ .

Observa-se quando a captação está pelo açude Acarape do meio principalmente em período chuvoso a ETA requer mais consumo de produtos



químicos. Segundo informações no sistema SCO o aumento do consumo do polímero catiônico no processo de coagulação e floculação é inerente aos ajustes nos equipamentos e aumento nas dosagens para manter a qualidade da água tratada.

Figura - 10: Dosagem de Polímero, para água do Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.



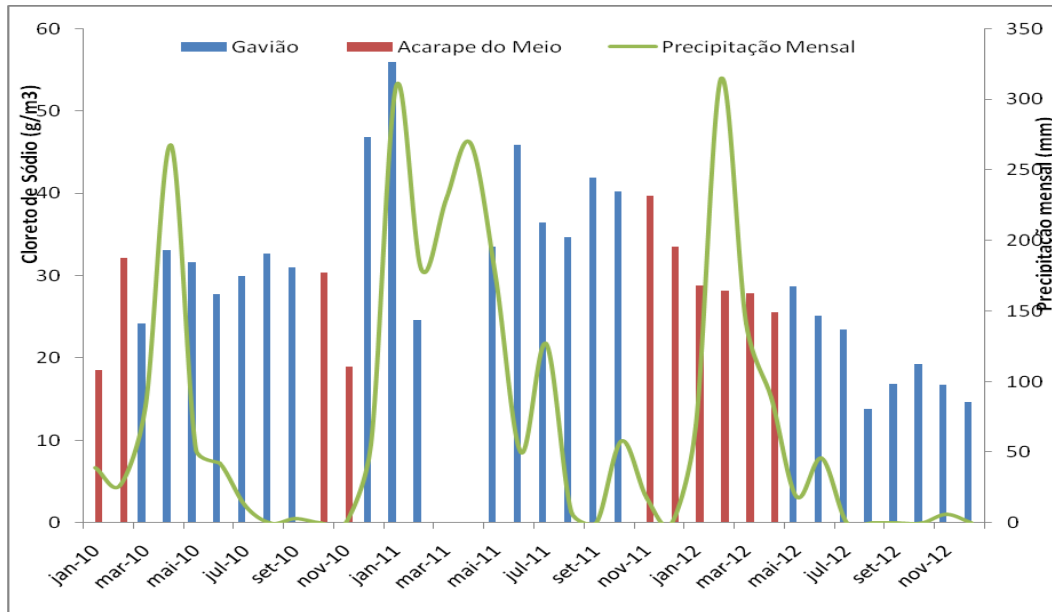
A Figura 11 mostra o consumo de cloreto de sódio na fábrica cloro na produção ácido hipocloroso para a desinfecção da água filtrada na ETA Maranguape comparando o período de precipitações. Nos meses de março e abril de 2011 a fábrica de cloro ficou fora de operação por problemas técnicos e falta de peças, neste período a desinfecção passou a ser realizada por hipoclorito de cálcio.

Nos meses de janeiro a abril de 2012, a ETA estava sendo alimentada pelo açude Acarape do Meio, houve um aumento no número de reclamações da população, devido à água tratada apresentar o odor mais acentuado de cloro, segundo informações do SCO o fato ocorreu devido o aumento na cloração da água filtrada para oxidação da matéria orgânica pela ação do cloro, o aumento na dosagem foi necessário para que a água tratada atendesse aos padrões de potabilidade. Apesar de a água tratada ter apresentado o odor característico do



cloro, ela não saiu dos parâmetros recomendados pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Figura – 11: Consumo de cloreto de sódio na fábrica de cloro pro m<sup>3</sup> de água produzida do Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.



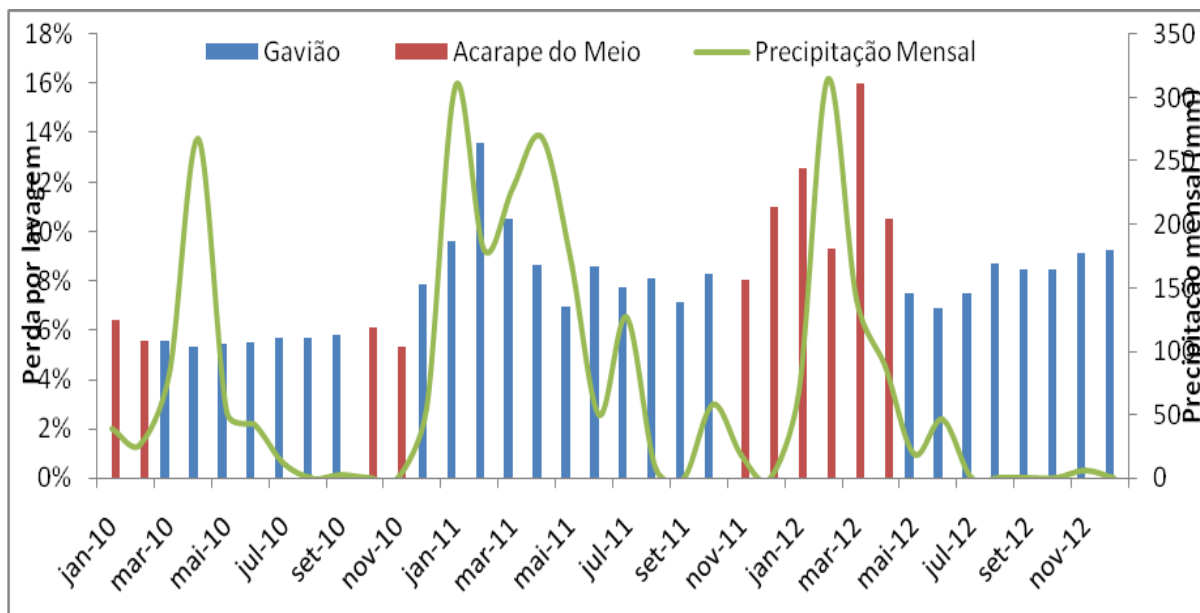
### 5.3 Consumo de Água de Lavagem

As estações de tratamento de água apresentam perdas operacionais, das quais pode-se citar perda de água (vazamentos, lavagem dos filtros e decantadores), conseqüentemente, perdas de produtos químicos e perdas de energia elétrica. Segundo Coelho (1996) as perdas de água nos sistemas de abastecimento no País, estão entre 40 e 50%, sendo que uma parcela dessa perda acontece nas ETAs. Estações projetadas ou operadas com deficiências podem ter perdas de até 10% do volume tratado para lavagem dos filtros. A redução dessas perdas pode refletir-se numa melhoria das condições de abastecimento dos sistemas com reflexos favoráveis do ponto de vista técnico, econômico, financeiro, social e ambiental.

A Figura 12 mostra a perda de água no sistema no processo de lavagem dos filtros, comparando-a com as precipitações na bacia. Nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e novembro de 2010 e novembro de 2011 a abril de 2012, a ETA recebeu água do açude Acarape do Meio. Observa-se que no primeiro período as perdas de água no sistema ficaram em média 9,1%, enquanto no segundo período, quando recebia água bruta do açude Gavião, a média da perda de água no sistema ficou em 7,8%.

A perda de água no sistema é significativamente grande para ambas as captações sendo que quando a ETA é abastecida pelo Acarape do meio a perda é maior. A perda na produção de água na lavagem dos filtros nas ETAs, mais eficiente operadas pela Cagece é: ETA Gavião 7%, ETA Jaburu 7,6%, ETA Oeste 10,1% e ETA Mombaça 9,8%. Comparando os dados de literatura que recomenda uma perda de água nas lavagens dos filtros de 5%, a ETA Maranguape está com uma perda maior que o recomendado pela literatura, em ambas as captações.

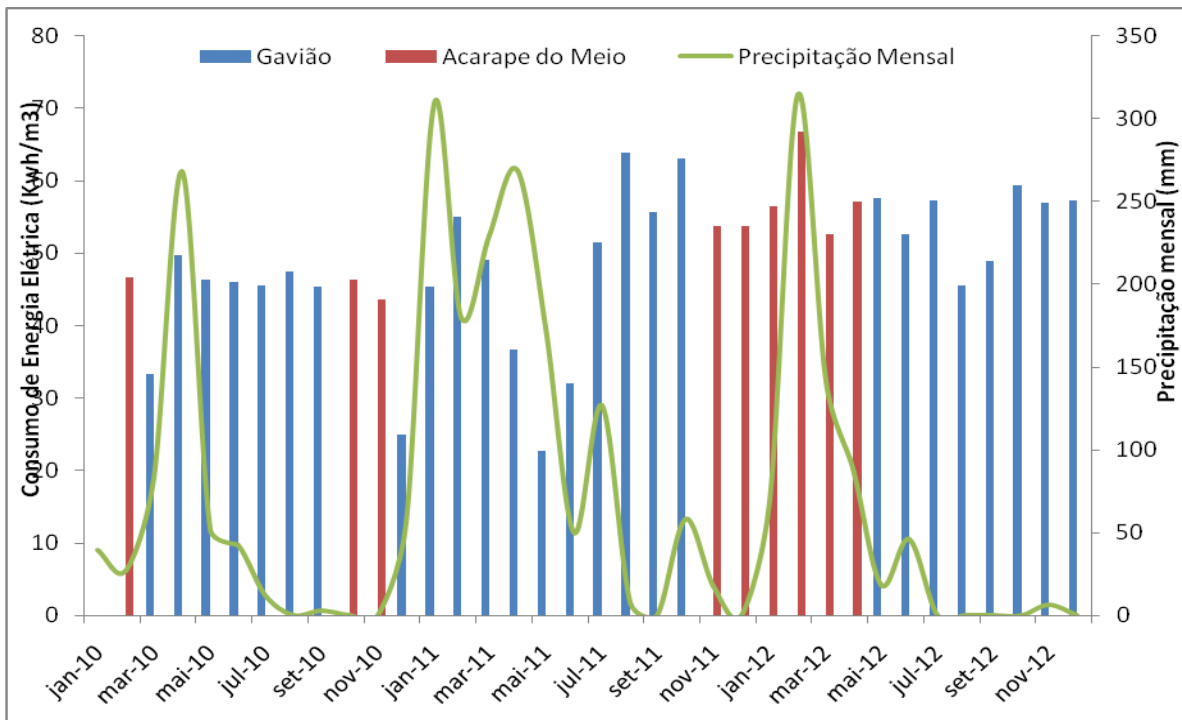
Figura - 12: Percentual de perdas de água produzida na ETA nas lavagens dos filtros para captação do Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.



#### 5.4 Consumo de Energia Elétrica

A Figura 13 mostra o consumo de energia elétrica na ETA Maranguape comparando o período de precipitações. Nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e novembro de 2010 e novembro de 2011 a abril de 2012, a ETA recebeu água do açude Acarape do Meio no segundo período recebendo água bruta do açude Gavião. Observa-se que não há diferença no consumo de energia elétrica independentemente da captação. A oscilação no consumo de energia elétrica em alguns meses no período estudado, de acordo com as informações no registro do sistema de controle operacional, foi devido a paradas na ETA para manutenção preventiva ou corretiva.

Figura - 13: Consumo de energia elétrica na ETA para a água do açude Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.

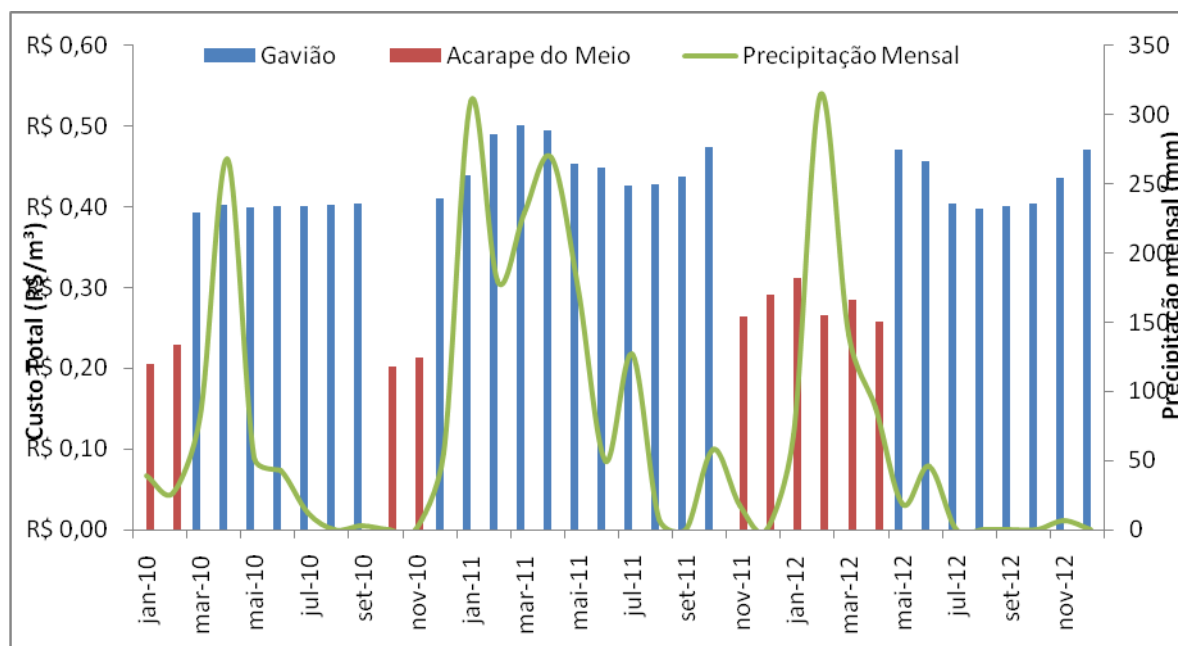


### 5.5 Custo Médio de Produção de Água

A Figura 14 mostra os custos totais de produção de água na ETA Maranguape. Nos meses de janeiro, fevereiro, outubro e novembro de 2010 e novembro de 2011 a abril de 2012, a ETA recebeu água do açude Acarape do Meio. Observa-se que no primeiro período o custo de produção de água em média é de R\$ 0,26/m<sup>3</sup>, enquanto no segundo período recebendo água bruta do açude Gavião o custo é R\$ 0,44/m<sup>3</sup> média significativamente maior.

Devido aos custos com bombeamento a COGERH tem a tarifa diferenciada para os mananciais que compõem Gavião, Pacoti e Riachão, aproximadamente 3 vezes o valor do metro cúbico cobrado dos demais açudes gerenciados pela companhia.

Figura - 14: Custo total da produção de água na ETA para a água do açude Gavião e Acarape do Meio comparando com a precipitação ocorrida no período do estudo.



## 5.6 Resumo de Participação dos Custos de Produção

Tabela 1. Custos totais dos insumos para produção de 1 m<sup>3</sup> de água tratada

Insumos	Consumo médio		Custos (R\$/m <sup>3</sup> )	
	Açude Acarape	Açude Gavião	Açude Acarape	Açude Gavião
Operação			0,023	0,023
Hipoclorito de Cálcio	5,33(g/m <sup>3</sup> )	4,51(g/m <sup>3</sup> )	0,041	0,035
Perdas por lavagem	9,1%	7,8%	0,031	0,022
Cloreto de Polialumínio	7,21(g/m <sup>3</sup> )	5,34(g/m <sup>3</sup> )	0,016	0,012
Cloreto de Sódio	28,40(g/m <sup>3</sup> )	28,05(g/m <sup>3</sup> )	0,013	0,014
Polímero Catiônico	2,44(ml/m <sup>3</sup> )	1,51(ml/m <sup>3</sup> )	0,021	0,013
Consumo de Energia Elétrica	47(Wh/m <sup>3</sup> )	48(wh/m <sup>3</sup> )	0,019	0,019
Água Bruta	1,09m <sup>3</sup> /1m <sup>3</sup>	1,08m <sup>3</sup> /1m <sup>3</sup>	0,097	0,300
<b>Total</b>			<b>0,26</b>	<b>0,44</b>

Os custos da produção de água tratada na ETA Maranguape para produção de 1m<sup>3</sup> de água tratada, contabilizando os principais insumos dos custos da ETA com operação, produtos químicos, energia elétrica, tarifa da água bruta e perdas de água no processo de lavagem dos filtros totalizam, conforme Tabela 1, o valor de R\$ 0,26

(vinte e seis centavos) para o manancial de captação do açude Acarape do Meio e R\$ 0,44 (quarenta e quatro centavos) para água bruta captada no Açude Gavião.

As Figuras 15 e 16\ mostram detalhadamente a participação das médias dos custos dos insumos: Água bruta, energia elétrica, Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio e operação na produção de água na ETA Maranguape para o manancial de captação açude Gavião e Acarape do Meio.

A média do custo de produção de água por m<sup>3</sup> na ETA Maranguape quando o manancial de abastecimento é o açude Gavião e de R\$ 0,44 (quarenta e quatro centavos), sendo que 67% do custo são com água bruta, 8% hipoclorito de cálcio, 7% perdas, 5% operação e 4% energia elétrica.

A média do custo de produção de água por m<sup>3</sup> na ETA Maranguape quando o manancial de abastecimento é o açude Acarape do Meio é de R\$ 0,26 (vinte e seis centavos), sendo que 38% do custo são com água bruta, 16% hipoclorito de cálcio, 10% operação, 9% perdas, 8% energia elétrica.

Figura - 15: Custo do metro cúbico de água produzida na ETA Maranguape detalhando a participação média dos custos de cada insumo: Água bruta, energia elétrica, Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio e operação para o manancial de captação açude Gavião.

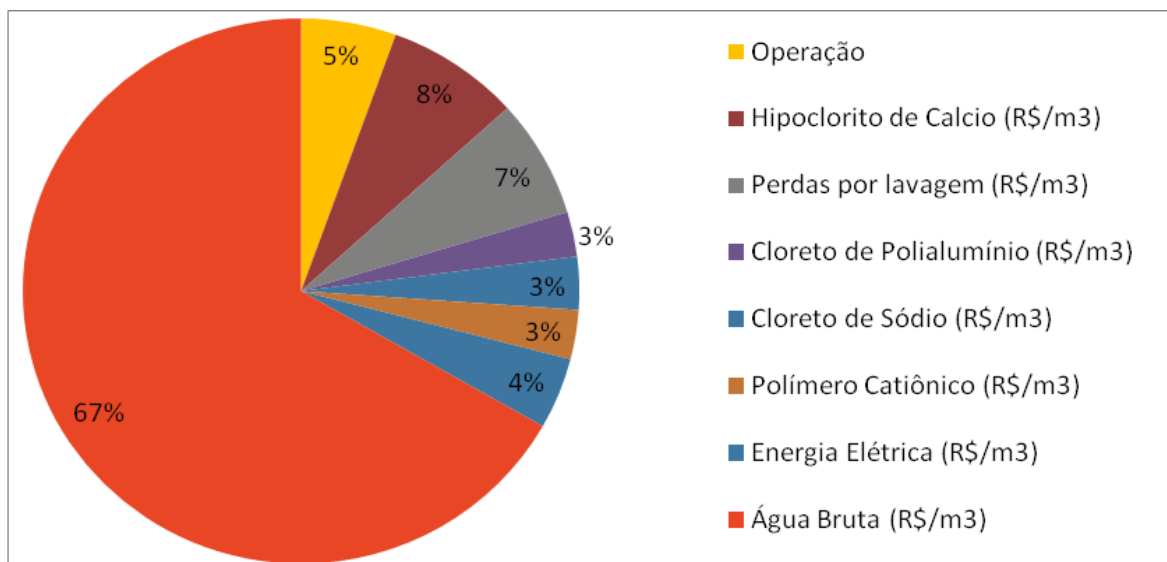
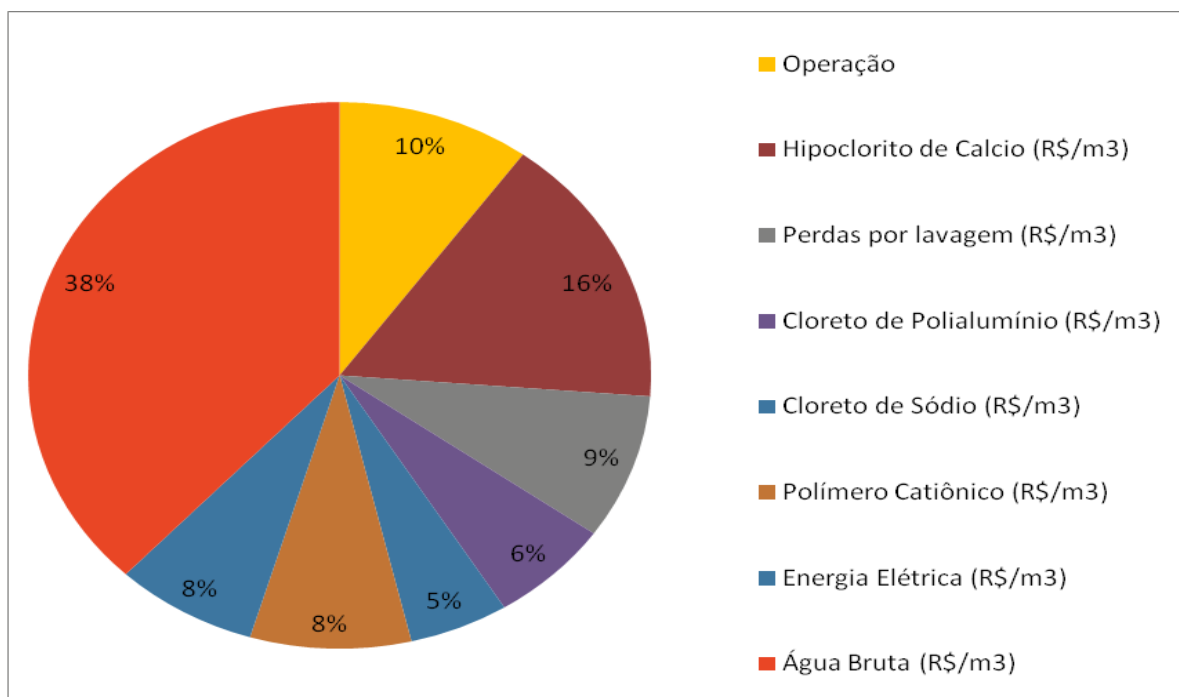


Figura – 16: Custo do metro cúbico de água produzida na ETA Maranguape detalhando a participação média dos custos de cada insumo: Água bruta, energia elétrica, Policloreto de Alumínio, Polímero Catiônico, Cloreto de Sódio, Hipoclorito de Cálcio e operação para o manancial de captação açude Acarape do Meio.



## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De acordo com os resultados obtidos nos levantamentos dos custos de produção de água na ETA:

- No período estudado a cada R\$ 2,00 (dois reais), arrecadado por metro cúbico de água distribuída no município de Maranguape pela CAGECE, cerca de R\$ 0,26 (vinte e seis centavos) a 0,44 (quarenta e quatro centavos) foram gastos com os custos de produção de água na ETA.
- Os custos do metro cúbico de água bruta do açude Acarape do Meio é um terço do valor do metro cúbico da água do Açude Gavião, justificando um estudo de viabilidade técnica para readequar a ETA de modo a permitir o uso contínuo das águas deste açude.
- Dentre os custos, dos produtos químicos no processo de tratamento de água, evidenciou que o Hipoclorito de Cálcio apresentou o maior custo por metro cúbico de água produzida na ETA Maranguape.
- A fábrica de cloro permite um efeito satisfatório para diminuir os custos com a desinfecção da água filtrada.
- No período de chuvas houve uma maior perda de produção de água nas lavagens dos filtros da ETA quando o manancial de captação era o açude Acarape do Meio.

Considerando que a ETA produz em média 357.696 m<sup>3</sup> de água por mês e que a diferença de custo médio é de R\$ 0,18 entre os dois mananciais, há um incremento mensal dos custos de produção de R\$ 64.345,28 / mês quando se trata a água proveniente do açude Gavião.

Caso houvesse a mudança de tecnologia para ampliação da ETA com a instalação do sistema de Flotação antes da filtração direta, que tem a maior eficiências com mananciais eutrofizados, considerando um cenário de 5 anos e com uso da água do Acarape do Meio, resultaria numa perspectiva de economia de 3,8 milhões, valor talvez suficiente para cobrir os custos de implantação da ampliação da ETA.



## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M.T.P., SANT'ANNA, C.L. Sphaerocavum, a new genus of planktic cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. *Algol. Studies*, v.109, p. 79-92, 2003.

AZEVEDO, M.T.P.; SANT'ANNA, C.L. Morfologia e reprodução. In: SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P.; AGUJARO, L.F.; CARVALHO, M.C.; CARVALHO, L.R.;

AZEVEDO, S.M.F.O. Cianobactérias e eutrofização. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL REPRESA DO LOBO – Broa – 30 anos de Pesquisa em Limnologia, Gerenciamento e Participação da Comunidade e Bases Científicas para o Gerenciamento da Eutrofização. São Carlos. Resumos. São Paulo: IIE/USP/UFSCar. 2000.

AZEVEDO, S.M.F.O. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. *Medicine online*, v.1, n.4, p.1-19. 1998.

AZEVEDO; NETTO, J. M.; RICHTER, C.A. Tratamento de Água. 1a Edição. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1991.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília. 2005

CEARÁ, Fundação Instituto de Planejamento do Estado do Ceará (IPLANCE), Atlas do Ceará, Fortaleza, IPLANCE, 64p., 1995.

CEARÁ. Fundação Instituto de Planejamento do Estado do Ceará (IPLANCE), Atlas do Ceará. Fortaleza, IPLANCE, 64p., 1995.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano Estadual dos Recursos Hídricos. Fortaleza, SRH, 4v., 1992.

CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, S. M. F. O; BENDATE, M. M. A. Fundamentos Biológicos e Ecológicos Relacionados as Cianobactérias. In: PÁDUA, V. L. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e

microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES, 504p. PROSAB, 2006.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HIDRICOS. Disponível em [www.cogerh.com.br](http://www.cogerh.com.br). Acesso em: 15/07/13

DANIEL, L.A. BRANDÃO, C.C.S; GUIMARÃES, J.R.; LIBÂNIO, M.; LUCA, S.J. Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, v. 1. 155p. 2001.

DATSENKO, I. S. Estudo da Qualidade da Água dos Reservatórios do Estado do Ceará. Relatório não Publicado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade de Fortaleza do Ceará, Fortaleza, 1999.

DI BERNARDO, L. Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento. ABES. Rio de Janeiro. 140p. 1995.

DI BERNARDO, L. Filtração Direta Ascendente de Alta Taxa. Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP). São Carlos, 1982.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2005.

FONTENELE, N.M.P; SANTAELLA, S.T. Distribuição de oxigênio dissolvido e Temperatura, pH e clorofila “a” no reservatório Pacoti (Ceará). In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Seguro ABES. 2000.

FUNCEME. Redimensionamento da região semiárida do Nordeste do Brasil. Fortaleza. 112p. 1994.

GUSMÃO, P.T.R. Utilização de Filtração Direta Ascendente como pré-tratamento de Água de Abastecimento. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

KURODA, E. K.; ALBUQUERQUE Jr.; E. C., DI BERNARDO, L.; TROFINO, J. C. Caracterização e escolha do tipo de carvão ativado a ser empregado no tratamento

de águas contendo microcistinas. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, MS, 10p. 2005.

PEREIRA, S.P. Tratamento de água com alta concentração de cianobactérias por meio da filtração lenta. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

RIBEIRO, I.V.A.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.

VERONEZI, M. V.; GIANI, A; MELO, C. S.; GOMES, L. L; LIBÂNIO, L. Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio de técnicas de tratamento das águas de abastecimento. Eng. Sanit. Ambient., vol.14, n.2, pp. 193-204. ISSN 1413-4152. 2009.

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

---

P495m Sampaio, Abraão Evangelista.

Avaliação econômica comparativa da estação de tratamento de água de Maranguape tratando água de dois distintos mananciais: Açudes Acarape do Meio e Gavião / Abraão Evangelista Sampaio. – 2013.

XXX f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de XXXXX, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: XXXXXX

Orientação: Prof. Dr. José Capelo Neto.

Co-orientador: Silvano Porto Pereira

1. Saneamento. 2. Tratamento de água – XXXX. I. Título.

---

CDD XXX