

**INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ NA DEMANDA CONDICIONADA POR ÁGUA
BRUTA E NO CUSTO DE SEU TRATAMENTO NA ESTAÇÃO DE REDENÇÃO-
CEARÁ**



Jair Andrade de Araújo

A-58612
~~746916~~

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Mestrado
em Economia Rural, do Departamento de Economia Agrícola
do Centro de Ciências Agrárias, como requisito parcial
para obtenção do Título de Mestre.

Universidade Federal do Ceará

FORTALEZA-CEARÁ-BRASIL

2002



Com carinho,
Aos meus pais, Antônio Araújo Filho
e Maria Imaculada Andrade de Araújo, e
aos meus irmãos Ricardo e Patrícia

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Às instituições e pessoas abaixo relacionadas que colaboraram de forma especial para a elaboração deste trabalho. Por isso, o autor agradece:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pela bolsa concedida durante o período do curso.

À Universidade Federal do Ceará e, em especial ao Departamento de Economia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) pelo fornecimento de informações primordiais para realização deste trabalho, especialmente aos funcionários, Maria Socorro dos Santos Souza, José Airton Pereira Lima e Maria Liliana Assis da Silva.

Aos funcionários do Departamento de Economia Agrícola da UFC, pela gentileza no atendimento durante o curso de mestrado.

Aos colegas do curso de pós-graduação, Gerlan David Matias, Maria de Fátima de Souza Ribeiro, Madalena, Rogério, Jackson, Gustavo, pela amizade durante o curso.

Ao professor Dr. José Cesar Vieira Pinheiro, pela eficiente orientação durante o programa de Mestrado.

A professora Dra. Maria Petronilia de Oliveira S. Gurgel, pelo aconselhamento e pelas sugestões.

Ao professor Ph.D Ahmad Saeed Khan, conselheiro e amigo, pela extraordinária dedicação e apoio durante o curso de pós-graduação e na realização deste trabalho.

Aos colegas e parentes Francisco Andrade, Rangel Reis e Nelson Sales, pelo apoio no decurso desta etapa da vida.

A todos os colegas de turma e contemporâneos, pelas críticas, discussões e sugestões ao nosso trabalho.

A todos aqueles, não diretamente citados, que contribuíram de alguma forma para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE GRÁFICOS	X
LISTA DE TABELAS DO ANEXO.....	XI
RESUMO	XII
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 O problema e sua importância..	03
2 OBJETIVOS.....	05
2.1 Geral.....	05
2.2 Específicos	05
3 METODOLOGIA	06
3.1 Área geográfica de estudo	06
3.1.1 Bacia do Pacoti	06
3.1.2 Açude Acarape do Meio	06
3.2 Sistema de abastecimento do Acarape do Meio.	08
3.3 Estação de tratamento de água	10
3.4 Características da área de estudo..	13
3.4.1 Clima	13
3.4.2 Vegetação	14
3.5 Solos	16
3.5.1 Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico	17
3.5.2 Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico	18
3.5.3 Podzólico Vermelho-Amarelo Álico	18
3.6.Erosão do solo	18

3.6.1 Situação atual da área de estudo.....	19
3.6.1.1 <i>Evolução da ocupação agrícola na serra</i>	19
3.6.2 Os Impactos da erosão do solo no ambiente	20
3.7 Método de análise	22
3.7.1 Forma algébrica da função de produção.....	26
3.7.1.1 <i>Demanda dos fatores</i>	27
3.7.1.2 <i>Função de custo indireto</i>	27
3.7.3 Modelo empírico.....	28
3.8 Modelo de regressão defasada.....	29
3.9 Fonte dos dados.....	29
3.9.1 Descrição das variáveis	30
3.9.1.1 <i>Variável dependente</i>	30
3.9.1.2 <i>Variáveis independentes</i>	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Função de produção	32
4.2 Modelo de regressão defasada.....	36
4.2.1 Relação entre turbidez e precipitação	38
4.3 Demanda de fatores	38
4.3.1 Demanda por água bruta	39
4.3.2 Demanda por energia elétrica.....	42
4.3.3 Demanda por coagulantes	42
4.3 Custo de tratamento de água	43
4.3.1 Relação entre custos observados e a Turbidez da água bruta	45
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXO – Dados da estação de tratamento de água – Redenção-CE	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- APA – Área de proteção ambiental.
- BIRD – Banco Interamericano de Desenvolvimento.
- °C – graus Celsius.
- CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará.
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.
- ETA - Estação de Tratamento de água.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.
- hab – habitantes.
- h – hora.
- ha – hectare.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IPLANCE – Instituto de Planejamento do Ceará.
- kg – quilograma.
- kw – quilowatts.
- km - quilômetro.
- km² – quilômetro quadrado.
- km³ – quilômetro cúbico.
- l- litro.
- m³ – metro cúbico.
- mm – milímetro.
- SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente.
- SRH – Secretária de Recursos Hídricos.
- s – segundo.
- t – tonelada.
- uT – unidade de turbidez.

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Principais características do Açude Acarape do Meio	07
2	Valores estimados de consumo (em l/s) para abastecimento humano em regiões atendidas pela ETA de Redenção-CE (ano 2000 e projeção para 2010).....	12
3	Coefficientes da equação de produção estimada do tratamento de água em Redenção-CE, no período de jan/1998 a jan/2001	33
4	Consumo de cloro (g/m^3) durante o período jan/98 a jun/01 na ETA de Redenção-CE.....	35
5	Valores médios mensais da turbidez da água bruta (uT) da ETA de Redenção e da precipitação pluviométrica da região (mm), durante o período jan/98 a jun/01.....	36
6	Equações estimadas entre turbidez da água bruta (uT) e precipitação pluviométrica (mm) no período de jan/1998 a jan/2001.....	37
7	Custos de tratamento de água estimados nos meses estudados para a ETA de Redenção-CE.....	44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
01	Sistema de Abastecimento de água.....	09
02	Croqui da ETA de Redenção-CE.....	10
03	Cilindros de armazenamento de cloro gasoso.....	11
04	Mapa de solos da APA de Baturité.....	16

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO		Página
01	Precipitação média mensal na bacia do Acarape do Meio para o período jan/1998 a jan/2001.....	13
02	Variação da turbidez da água e da precipitação.....	38
03	Demandas por água bruta da ETA de Redenção-CE, no período jan/98 a jun/01.....	40
04	Variação dos custos e da turbidez	45

LISTA DE TABELAS DO ANEXO

TABELA		Página
01A	Dados utilizados para estimar a função de produção	55
02A	Preços dos insumos em kg e IGP-FGV.....	56
03A	Dados de Precipitação puviométrica (mm).....	57

RESUMO

Esta pesquisa teve como principal objetivo verificar o impacto da turbidez da água bruta na demanda e no custo do seu tratamento. Especificamente, estimaram-se funções de produção para a água tratada, com dados da CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) referentes ao período jan/98 a jun/01 e da Estação de Tratamento de Água em Redenção-CE. A variável dependente usada no ajustamento foi a quantidade de água tratada (Y_i), e como variáveis explicativas, a quantidade de água bruta (X_1), despesas com mão-de-obra (X_2), energia elétrica (X_3), turbidez (T), cloro (X_4) e coagulantes (X_5). Com base nos resultados obtidos, observa-se que o fator de produção que contribuiu mais intensivamente na determinação da produção de água tratada foi a quantidade de água bruta, representada pela elasticidade de produção de 0,86, seguida das variáveis: mão-de-obra 0,04, energia elétrica 0,12, coagulantes 0,017. A turbidez, variável qualitativa, foi incluída no modelo, obtendo-se a elasticidade de produção de $-0,0018$ influenciando a elasticidade parcial da energia elétrica; esta variável não foi significativa ao nível usualmente praticado, entretanto está conforme o esperado empiricamente, pois o aumento da turbidez sugere que a ETA utilize uma maior quantidade de energia elétrica para o tratamento eficiente da água, em razão das freqüentes lavagens dos filtros. A variável cloro foi expressa em forma de dummy, adotando-se o valor 1 para índices maiores do que $7g/m^3$ e 0 aos valores abaixo de $7g/m^3$. Finalmente, constatou-se que a demanda por água bruta da ETA de Redenção-CE é influenciada pela turbidez, pois, considerando os pontos turbidez máxima e mínima, as demandas foram de $165.802,18m^3$ e $86.750,27m^3$ mensalmente. Deve-se salientar que, durante o período registrado de turbidez máxima e mínima, ocorreu uma ampliação do sistema de distribuição de água em Redenção-CE e a ETA passou a tratar um volume de água maior. A ampliação do sistema e aumento da capacidade da ETA ocorreu no mês de maio de 1999, quando até então a ETA tratava em média $82.586,43m^3/mês$. A partir dessa providência, passou a tratar $158.038,38m^3/mês$. Observa-se que a produção de água tratada entre os pontos de turbidez máxima é quase o dobro da produção quando ocorreu a turbidez mínima. Daí a grande diferença entre estas demandas. Os custos totais estimados para os meses de turbidez máxima e mínima foram de R\$ 8.882,21 e R\$ 2.754,21, respectivamente.

1 INTRODUÇÃO

A água, elemento imprescindível para toda forma de vida, tem sido motivo de preocupação nos dias atuais pelo elevado grau de desperdício e qualidade cada vez mais prejudicada pela atividade humana. Em virtude de sua importância vital, a água é de interesse público, sendo também um recurso estratégico para a geração de riquezas e bem-estar. A gestão integrada dos recursos hídricos é portanto, peça fundamental para se alcançar o desenvolvimento sustentável (Declaração de Maimai, 1993) apud SILVA et al. (1994)¹.

Na década de 1970 surgiram os primeiros estudos técnicos interdisciplinares, sistematizando as preocupações da comunidade científica com relação aos recursos naturais e seu futuro para melhores condições da vida da população (MENDES, 2001).

Com respeito à disponibilidade, a água está distribuída da seguinte maneira: na terra, existem cerca de 1,4 bilhões de km³ de água salgada (nos mares e oceanos) e 47 milhões de km³ de água doce. A água doce está assim distribuída: 36,2 milhões de km³ nas geleiras e calotas polares (77,2%); 10,5 milhões de km³ no subsolo (22,4%), 169 mil km³ nos lagos, pântanos e rios (0,36%) e 19 mil km³ na atmosfera (0,04%). Assim, de toda água do Planeta, cerca de 97% são de água salgada. Dos 3% de água doce, 2,3% estão armazenados nas geleiras e calotas polares e somente 0,7% é passível de exploração pelo homem, o que representa cerca de 10,7 milhões de km³ de água doce para toda a humanidade (LIMA, 2000).

Segundo ALVES (2000), o Brasil está entre os dez países que detêm 60% da água doce do mundo, contando com 8% desta. Na Região Amazônica encontram-se 70% e os outros 30% estão distribuídas desigualmente pelo País, atendendo a 93% da população.

O País utiliza 59% (683,3 m³/s) de água na agricultura, 18,6% (215m³/s) na indústria e 22,4% (255,1m³/s) no abastecimento doméstico, ou seja, o consumo nas residências supera o da indústria (LIMA, 2000).

O Nordeste brasileiro enfrenta escassez dos recursos hídricos, tanto em quantidade quanto em qualidade. Cidades como Fortaleza, João Pessoa, Recife e Campina Grande já passaram por período de racionamento, com elevados custos sociais; cada vez

¹ SILVA, R. P; SILVINO, G. S. Programa de monitoramento dos açudes do Estado da Paraíba. Belém: Laboratório de Meteorologia dos Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto, UFPA, 1994,7p.

mais onerosos e difíceis de administrar. Vale ressaltar que Fortaleza nos últimos anos não sofreu racionamento em razão de investimentos em obras hídricas. O usuário dos recursos hídricos deve ser conscientizado para racionalizá-los, considerando que a água, um bem precioso em extensão, precisa ser preservada de imediato e as estratégias de gerenciamento deste recurso devem ser eficazes.

Segundo FUNCEME (2002), no Estado do Ceará existem cadastrados aproximadamente 7.500 açudes com espelho d'água superior a 5 ha. Desses, 73 (considerados mais importantes no que se refere à capacidade, localização e uso) estão sendo monitorados. Este monitoramento está sendo desenvolvido mediante a verificação de parâmetros como nível dos reservatórios, temperatura, velocidade e direção dos ventos, precipitação, evaporação e vazão liberada.

No Ceará há uma grande parcela da população sem disponibilidade de água, o que compromete a qualidade de vida das pessoas e dos animais. O Estado possui 40,28% (2.814.163 hab) dos moradores em domicílios particulares sem acesso ao serviço público de abastecimento de água potável (LIMA, 2000). Conta com onze bacias hidrográficas em seu território, quais sejam: bacias do rio Coreaú, do rio Curu, do rio Paranaíba, Bacias Metropolitanas, do Litoral, do Alto Jaguaribe, do rio Salgado, do rio Banabuiú, bacia do Médio Jaguaribe, do baixo Jaguaribe e do rio Acaraú (IPLANCE, 2000).

Estas bacias, sistemas frágeis e de suma importância dentro do abastecimento de água da população do Estado, sofrem com a poluição e desmatamentos indiscriminados, que estão acabando com as matas ciliares, resultado da falta de educação ambiental da população rural. O descaso do homem em relação a este sistema acarreta aumento da erosão do solo e poluição da água.

A contaminação da água se define como alteração de sua qualidade natural provocada primordialmente pela ação do homem, que faz o recurso se tornar, parcial ou totalmente, impróprio para o uso a que se destina. Entende-se por qualidade natural de água o conjunto de características físicas, químicas e bacteriológicas que a exhibe em seu estado natural nos rios, lagos e mananciais, no subsolo ou no mar (RIZZI, 2001).

Segundo COGERH (1999), existem hoje 12 reservatórios nas Bacias Metropolitanas, representando somente aqueles que têm por limite inferior a capacidade de armazenamento de 10hm^3 .

No território contemplado pelas Bacias Metropolitanas como um todo, tanto no meio rural quanto no urbano, observa-se a degradação de grandes extensões das matas

ciliares dos cursos e mananciais d'água, cuja preservação tem como função relevante servir de barreira ao aporte de sedimentos e poluentes (COGERH, 1999). Sem preservação, os cursos d'água tornam-se poluídos.

A distribuição geográfica da população no Estado está concentrada nas Bacias Metropolitanas. A densidade demográfica atingiu no ano de 1996 o patamar de 229,19 hab/km² para a região como um todo. A cidade de Fortaleza, capital do Estado, apresentou uma carga demográfica de 6.540 hab/km². As demais integrantes mostraram uma densidade demográfica muito rarefeita entre 12 hab/km², na bacia do Cahuipe, até 501 hab/km², na bacia da Caponga (COGERH, 1999).

1.1 O Problema e sua importância

Dentre as Bacias Metropolitanas no Estado do Ceará, tem-se a bacia do rio Pacoti, que possui como principal afluente o rio Acarape do Meio (alguns trechos) barrado em 1909, dando início à construção da barragem Eng^o. Eugênio Gudín (Acarape do Meio). O reservatório está situado na serra de Baturité, no Município de Redenção-CE, distante 75km de Fortaleza (COGERH, 1999).

De acordo com LIMA (2001), hoje já se resente da constante exploração dos recursos naturais disponíveis na região, que vem gerando a degradação do meio ambiente. A exemplo encontra-se a degradação de solos com perda de nutrientes, aumento da erosão causada pela derrubada indiscriminada de extensas áreas de matas.

A agricultura em Redenção-CE é feita com técnicas rudimentares. O desmatamento indisciplinado tem acelerado os processos de erosão, levando a ocorrência de deslizamento de terras na época de chuvas; assoreamento de fundos de vales e desaparecimento de fontes naturais de água prejudicando o abastecimento da população (SANTANA, 2001).

A barragem Eng^o. Eugênio Gudín (Acarape do Meio) que abastece a população da cidade, possui uma taxa de erosão de 9,91t/ha/ano na sua bacia hidrográfica, considerada 50% superior à taxa tolerada para o tipo de solo da região (FERNANDES, 2000).

Com base em diversos estudos, MARQUES (1995), PICCOLO E TEIXEIRA (1999), ALVES (2000), entre outros, revelam que os desmatamentos contribuem para o

aumento da erosão e juntos são responsáveis pelas alterações no ciclo hidrológico. A erosão acelerada facilita o escoamento mais rápido de partículas de sedimentos, aumentando a turbidez da água nos reservatórios. Isto tem contribuído para aumentar os custos de tratamento, em virtude da necessidade de colocar cargas adicionais de coagulantes químicos, limpar os filtros mais freqüentemente, aumentar o consumo de energia elétrica etc.

PETALAS (2000) ensina que entre os impactos da erosão do solo, tem-se assoreamento dos açudes, danos sociais e econômicos, aumento do custo de tratamento de água, escassez de recursos hídricos potáveis e, conseqüentemente, o aumento na demanda por água potável.

A água que abastece a população de Redenção-CE é proveniente do Acarape do Meio, tratada na Estação de Tratamento de Água da cidade, localizada a jusante do açude. O reservatório possui sua bacia hidrográfica inserida numa região que sofre com o desmatamento e erosão do solo (FERNANDES, 2000). Portanto, pode-se questionar até que ponto a erosão na região está comprometendo a demanda por água potável na estação e conseqüentemente seus custos de tratamento.

Nesta pesquisa, procura-se analisar a demanda por água bruta na Estação de Tratamento de Água, na cidade de Redenção-CE, e seus custos de tratamento, sabendo-se que existe na bacia do Acarape do Meio erosão acelerada do solo, provavelmente comprometendo a eficiência da estação.

Estudos que demonstrem os impactos da erosão do solo, considerando a turbidez da água bruta, na demanda e nos custos da Estação de Tratamento de Água em Redenção-CE e em outras áreas, são de grande importância para fornecer suporte à formulação e implantação de políticas públicas voltadas para o suprimento de água potável na região.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Determinar o impacto da turbidez sobre indicadores econômicos relacionados com o tratamento da água potável.

2.2 Específicos

- a) Estimar a função de produção de água tratada da Estação de Tratamento de Água de Redenção-CE.
- b) Determinar o impacto que a turbidez têm sobre a demanda de água bruta requerida pela estação de tratamento de Redenção-CE.
- c) Verificar o impacto que a turbidez da água bruta tem sobre os custos de tratamento para o abastecimento urbano de Redenção-CE.
- d) Analisar a influência da precipitação pluviométrica sobre a turbidez da água bruta na estação de tratamento de Redenção-CE.

3 METODOLOGIA

3.1 Área geográfica de estudo

3.1.1 Bacia do Pacoti

O rio Pacoti nasce na serra de Baturité e percorre 112km no sentido sudeste/nordeste, dos quais o primeiro terço com declividade de 2,0%. Em jusante, com relevo suave, sua declividade é em torno de 0,1%. O manancial drena uma área de 1.257km² (COGERH, 1999).

O Pacoti não possui grande afluente na margem direita, mas têm dois contribuintes de maior porte pela margem esquerda, Baú e Água Verde. Encontra-se, também, em seu baixo curso, a existência de lagoas perenes e intermitentes. Todos os cursos de água desta bacia apresentam pluviometria intermitente no baixo curso e recebem a influência das marés e têm um estuário de 160ha de manguezais.

3.1.2 Açude Acarape do Meio

Segundo FERNANDES (2000), a bacia hidrográfica da barragem Eugênio Gudin (Acarape do meio) localiza-se na área entre as coordenadas geográficas 38°44' – 39°00' de longitude oeste e 4°00' - 4°15' S de latitude sul, drenada pelos riachos Araticum, Canabrava, Salgado e Oiticica, e outros cursos d'água menores. Constitui-se uma área de planalto residual com embasamento gnáissico, localizada na serra de Baturité e delimitada por encostas íngremes.

O açude Acarape do Meio (Barragem Eng^o. Gudin) está localizado no município de Redenção-CE, distando aproximadamente 75km de Fortaleza, capital do Estado. O acesso é feito pela CE060, seguindo-se por uma estrada a partir da sede urbana do referido Município (SALES, 1999).

COGERH (1999) informa que a primeira adutora, iniciada no Governo do então governador Nogueira Accioly, veio a ser concluída em 1926.

Segundo COGERH (1999) Fortaleza precisava de maior quantidade de água para o abastecimento humano. O Governo do Estado decidiu ampliar o Açude e para isto realizou empréstimos no BIRD (Banco Interamericano de Desenvolvimento) na década de 60. Iniciou-se a construção de uma nova adutora com capacidade de 80.000m³/dia, suficientes para atender às necessidades da época.

A nova adutora foi inaugurada em 1973. Inicialmente transportava água para a estação de Tratamento de água no Pici (bairro de Fortaleza).

Hoje, o Acarape do Meio, não mais é responsável pelo abastecimento da Capital, pois com o aumento da população, o governo foi obrigado a construir outros reservatórios, com esta finalidade.

A TABELA 01 mostra as principais características do reservatório.

TABELA 01: Principais características do Açude Acarape do Meio

Características Gerais	
Volume Total:	34.000.000m ³
Volume Morto	2.695.920m ³
Sistema:	Choro
Rio:	Acarape do Meio
Bacia Hidráulica:	220,89ha
Bacia Hidrográfica:	205km ²
Barragem do Tipo:	Alvenaria de pedra
Altura:	33m
Vertedouro:	Soleira espessa
Largura:	60m
Tomada d' água:	Galeria
Cota:	100
Comprimento do Maciço:	325m
Altura da Seção Máxima:	33,00m
Largura do Coroamento:	3,00m
Extensão do Coroamento	267,50m

Fonte: DNOCS (1910)

Nos últimos anos, trabalhos científicos, tais como os de FERNANDES (2000) e SALES (1997), concluíram que a bacia hidrográfica do Acarape do Meio está passando por forte processo erosivo, acima da capacidade considerada tolerável, o que provavelmente traz custos para a sociedade.

Segundo FERNANDES (2000), a erosão na bacia foi iniciada logo após a construção do açude em 1924. O referido autor, em suas pesquisas e viagens de campo, constatou que a preparação do solo para o cultivo de milho e arroz é feita por meio de queimadas, procedimento que faz aumentar a erosão do solo na região. Salienta ainda que, entre 1924 a 2000, a erosão prevista foi de 15,3 milhões de toneladas ou 9,91t/ha/ano, o que comprometeu 10% da capacidade de armazenamento do reservatório.

3.2 Sistema de abastecimento do Acarape do Meio

O Acarape do Meio (Barragem Eng^o. Eugênio Gudín) está integrado ao sistema composto por outros reservatórios: Gavião/Pacoti/Riachão e Pacajus. A operação e manutenção deste sistema são realizadas pela COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos). A FIGURA 01 seguinte mostra as cidades constituintes do sistema de abastecimento.

Este sistema integrado é responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, com população de mais de dois milhões de habitantes, e onde está concentrada a grande maioria das indústrias do Estado. Desde novembro de 1996, a COGERH vem sendo responsável pelo fornecimento da água bruta ao referido grupo de municípios.

A operação realizada pela empresa objetiva, principalmente no caso dos açudes, definir a liberação de águas de forma a atender a demanda (os usos), levando em consideração a oferta disponível e as características do próprio açude.

A empresa também realiza o monitoramento, como instrumento da gestão dos recursos hídricos, que tem a função de realizar o acompanhamento dos aspectos qualitativos e quantitativos da água, no que diz respeito aos níveis dos açudes, vazões liberadas e níveis de contaminação química e biológica, auxiliando a tomada de decisões na operação.

“Todo o processo de alocação de água realizado a partir da operação destes reservatórios é discutido com os usuários. Encerrado o período de chuva, no mês de julho de cada ano, são realizados seminários com a participação de técnicos da GGERH e de representantes dos Comitês de Bacias onde se discute, com base nas disponibilidades hídricas existentes, as regras de operação dos reservatórios. Definidos os volumes a serem liberados em cada mês, uma equipe de técnicos da companhia executa o monitoramento. Reuniões periódicas são realizadas para aferir, junto aos usuários, todo o processo de alocação de água”(COGERH, 2001).

A adutora do Acarape do Meio é responsável pelo fornecimento de água para vários municípios e suas respectivas sedes. A maioria destas cidades possui estação própria de tratamento. Entre as cidades, tem-se Redenção, Acarape, Barreiras, Guaiúba, Pacatuba, Maranguape e Maracanaú, conforme a FIGURA 01.

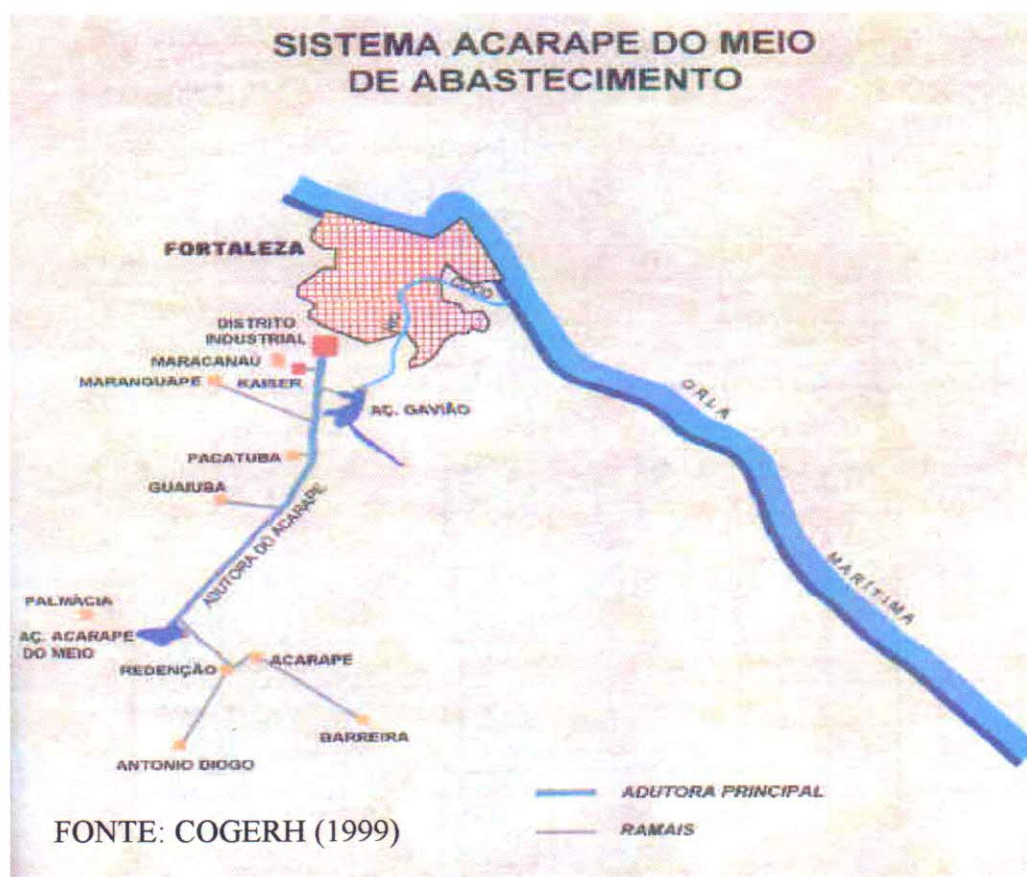


FIGURA 01- Sistema de abastecimento de água.

3.3 Estação de tratamento de água de Redenção-CE

O sistema (FIGURA 01) abastece a Estação de Tratamento de Água de Redenção-CE, que se encontra a jusante do açude Acarape do Meio, aproximadamente a 500m de distância.

A ETA de Redenção-CE está esquematizada na FIGURA 02. As instalações da ETA estão divididas nas etapas (A e B). Cada uma possui quatro filtros ascendentes para o tratamento da água bruta que chega à estação por gravidade. Na ETA, tem-se cômodos destinados à verificação da qualidade da água (laboratório), onde são feitas as análises químicas, e sevem para armazenamento de equipamentos e insumos utilizados no tratamento.

A ETA possui uma instalação que abriga três bombas para a lavagem dos filtros.

Todas estas estruturas foram construídas pela SRH (Secretária de Recursos Hídricos) e entregues à CAGECE que é responsável pela Estação. A Companhia tem funcionários atuando diretamente no funcionamento da ETA.

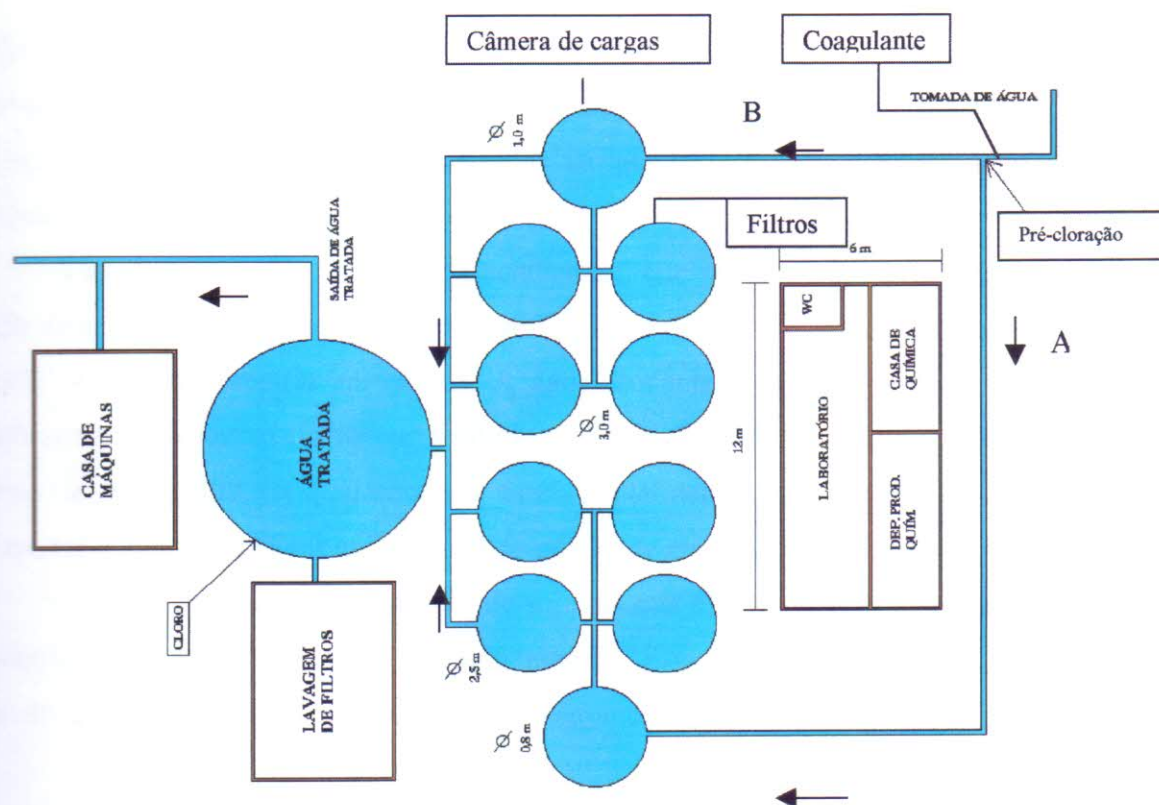


FIGURA 02- Croqui da ETA de Redenção-CE

O processo de tratamento é dividido em etapas.

A primeira, chamada de pré-cloração, tem como objetivo limitar o desenvolvimento de microorganismos nos filtros; melhorar as condições de coagulação, resultando, em alguns casos, na economia de coagulantes. Serve também para a oxidação do ferro e do manganês, o que facilita a filtração. A FIGURA 03 mostra os cilindros utilizados para armazenar o gás cloro.

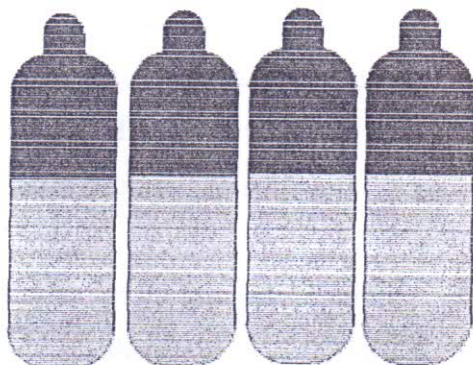


FIGURA 03: Cilindros de armazenamentos de cloro gasoso.

Após a pré-cloração, a água é submetida à coagulação, que tem por objetivo transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal, e algumas que se encontram dissolvidas em partículas que possam ser removidas pela floculação e filtração². Os reagentes utilizados são geralmente hidroxiclreto de alumínio (policlreto) e o sulfato de alumínio.

A água segue para os filtros (ascendentes), que possuem na parte inferior, uma camada de pedregulho especialmente graduado, sobre o qual se encontra disposta a camada de areia, com granulometria apropriada. A água, coagulada através de mecanismos de neutralização de cargas, entra na parte inferior do filtro, sendo distribuída uniformemente na cama de pedregulho, na qual ocorrem, fundamentalmente, as operações de floculação por contato. Assim, a água vai melhorando de qualidade em seu escoamento ascendente.

Com o tempo, ocorre o acúmulo de sujeiras nos filtros, necessitando de operação de lavagem adequada para seu bom funcionamento. Esta etapa é feita pelo aumento da vazão de água nos filtros, realizada pelas máquinas elétricas. A água de lavagem é

² Em única unidade (filtros), processo denominado de filtração direta.

desprezada. Quando a água nos filtros clarear, pode-se retornar ao procedimento de filtração.

Depois de filtrada, a água segue para o reservatório e adiciona-se cloro novamente, numa etapa também chamada de pós-clororação. Durante esta fase de pós-clororação, também é feita análise em laboratório para verificação da qualidade da água que sairá da ETA para o consumo.

Para monitorar o processo de tratamento, há uma série de análises de rotina (que são averiguadas) na própria ETA. São analisados aspectos como: turbidez, cor, pH, dureza, ferro e cloro residual para verificar a qualidade da água que irá sair da ETA para o sistema. Mensalmente são feitas análises físico-químicas completas e bacteriológicas na sede da regional da CAGECE, em Fortaleza-CE.

A partir desta fase, está completo o processo de tratamento e a água armazenada no reservatório segue para a rede de distribuição. A TABELA 02 mostra as principais localidades atendidas pela ETA, com projeção para o ano de 2010.

TABELA 02-Valores estimados de consumo (em l/s) para abastecimento humano em regiões atendidas pela ETA de Redenção-CE (ano 2000 e projeção para 2010).

Ramal Abast. Humano	Redenção	População (2000)	Consumo (2000)	População (2010)	Consumo (2010)
1. Redenção		24.993	43,39	31.993	55,54
4. Distrito Diogo	Antônio	6.532	9,07	7.962	11,06
5. Distrito de Itapaí		1.230	1,71	1.499	2,08
6. Distrito de Carro Atolado		1.320	1,83	1.609	2,23
7. Distrito de Catangalo		1.131	1,57	1.378	1,92
8. Distrito de Barra Nova		1.203	1,67	1.466	2,03

Fonte: IBGE (2000, adaptado).

O consumo para 2000 está baseado no censo do IBGE (2000). As estimativas de consumo foram realizadas com base nas taxas anuais de crescimento do IPLANCE.

- Sedes municipais : Consumo *per capita* de 150l/hab/dia e taxa de crescimento adotada de $\geq 2,5\%$ ou taxa IPLANCE entre 1998-2000.
- Distritos: consumo *per capita* de 120l/hab.dia e taxa de crescimento adotada de $\geq 2,0\%$ ou taxa IPLANCE entre 1998 – 2000.

3.4 Características da área de estudo

Neste item tem-se, simplificada, as características do clima, vegetação e do solo mais significativos na bacia do Acarape do Meio (barragem Eugênio Gudín).

3.4.1 Clima

Segundo FERNANDES (2000), as feições do relevo da área, associadas aos movimentos de massas úmidas, caracterizam uma diferenciação climática no maciço. Em comparação ao semi-árido circundante, os índices pluviométricos apresentam-se mais elevados e as temperaturas mais amenas, com médias anuais variando de 19 a 22°C.

As precipitações médias mensais na bacia do Acarape do Meio para o período jan/1998 a jun/2001, calculadas a partir dos dados dos postos de Pacoti, Redenção e Palmácia (FUNCEME, 2001), são ilustradas no GRÁFICO 01. A precipitação média anual foi de 1.218,50mm durante o período observado.

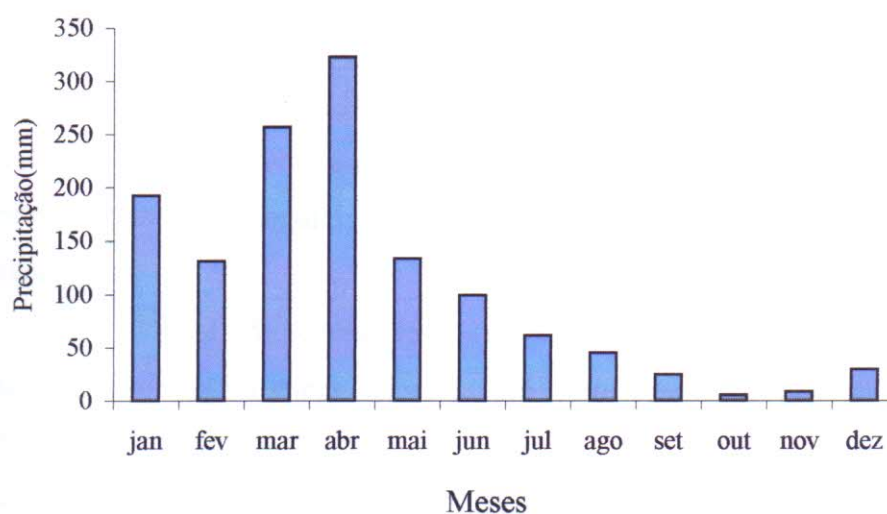


GRÁFICO 01 – Precipitação pluviométrica média mensal na bacia do Acarape do Meio para o período jan/1998 a jun/2001.

3.4.2 Vegetação

INCLAN & COELHO (1967) anotam que as unidades de vegetação que ocorrem na área são: formações florestais (predominantemente arbustivas), formações do tipo campo e formações secundárias. Nas formações florestais, predomina a Floresta Tropical Semi-Sempre Verde.

Na intenção de estabelecer a tipologia florestal da área de estudo, JACOMINE *et al* (1973) adotaram a seguinte classificação:

- a) Floresta Subperenifólia - De formação densa de porte alto, normalmente com folhas de tamanho médio, esgalhamento aberto, rica em espécies, algumas com copas em pára-sol, apresentando lianas e epífitas. Localiza-se nas partes mais elevadas das serras, acima de 600 metros de altitude onde são conhecidas com o nome de serras úmidas. Entre as espécies mais importantes cita-se as Leguminosas *Inga bahiensis* (Benth), *Hymenaea sp.* (jatobá) etc.
- b) Floresta subcaducifólia - Trata-se de uma formação menos densa e com espécies de menor porte que a Floresta Subperenifólia, caracterizada por apresentar caráter subdeciduo; isto é, parte dos componentes perde as folhas durante o período seco. Entre as espécies encontra-se as Leguminosae *Ptyrocarpa sp* (catanduva), *Anadenanthera sp* (angico), etc.
- c) Floresta Caducifólia: É uma formação de porte baixo, menor que 10 metros, pouco densa, com árvores de esgalhamento baixo, caule de casca escura ou pardacenta, algumas espinhetas, com folhas pequenas, que devido à estação seca prolongada, caem totalmente na época. Entre as espécies tem-se as Leguminosae *Anadenanthera sp* (angico), *Minosa caesalpinifolia* Benth (sabiá) etc.

De acordo com SIDRIM & CARDOSO (1978), a cobertura vegetal é condicionada pelos tipos dominantes do clima, relevo e solo. A existência de um clima úmido na região, como consequência da disposição de uma das encostas, a barlavento, proporciona o aparecimento de uma vegetação exuberante do tipo florestal, de caráter semi-Sempre Verde, e na vertente oposta, com clima mais seco, resulta uma vegetação de caráter semi-caducifólia.

FIGUEIREDO (1989) classificou a vegetação das serras úmidas nos setores mais elevados, como Floresta Subperenifolia Tropical (matas úmidas).

O mesmo, autor, em trabalho de 1991 referiu-se à região como sendo uma relíquia da Mata Atlântica, tendo constatado também a devastação cada vez mais acentuada dessa área.

As tipologias de florestas encontradas, em função dos tipos de solo, declividade, altitude e acesso, sofrem bastante influência antrópica e encontra-se muito modificada, sendo observadas áreas desmatadas, capoeiras em formação.

Segundo GOMES (1993), além da vegetação o tipo da floresta mencionada, encontram-se os campos úmidos, ou periodicamente alagados, de pequenas várzeas, enquadrados na região nas formações do tipo Campo.

Conforme JACOMINE *et al* (1973), a formação do tipo Campo antrópico – é de campos desenvolvidos artificialmente em decorrência da remoção do revestimento original, constituindo uma formação secundária que se instalou após a destruição da vegetação natural. Esta destruição, com a seguida utilização e posterior abandono das áreas, provoca uma fisionomia profundamente modificada.

A destruição da mata na região resulta de uma série de fatores econômicos e sociais e da fragilidade institucional de se fazer cumprir a norma legal. Todo o ano, entre novembro a janeiro, é freqüente a utilização do fogo na agricultura.

Esta prática agropastoril (resultante da queima para limpeza de terrenos para fins agrícolas - costume de uso do fogo para renovação de pastagem para a pecuária e para controle fitossanitário de pragas e ervas daninhas de geração em geração) exercitada, sem as devidas precauções, tem sido responsável por incêndios florestais, muitas vezes com graves conseqüências para o meio ambiente e as comunidades envolvidas.

As queimadas constituem um dos principais fatores na redução de área com floresta, acarretando a destruição da cobertura vegetal; destruição de húmus e morte de microorganismos; destruição da fauna, aumento de pragas no meio ambiente em razão da morte dos inimigos naturais; eliminação de sementes em estado de latência; ressecamento do solo; destruição de beleza cênica natural; aceleração do processo de erosão e assoreamento dos rios, lagos e lagoas.

Portanto, os solos nus, provenientes de queimadas, contribuem para o aumento da erosão na região, principalmente no início do ano quando começa o período de chuva na região.

Para evitar ainda mais os desmatamentos, pelo esforço das comunidades e do Governo estadual, foi instituída a APA (Área de Proteção Ambiental) na serra de Baturité, criada pelo Decreto Lei nº20.956 de 18 de setembro de 1990 e administrada pela SEMACE, que hoje luta pela preservação da natureza no local (COGERH, 1999).

3.5 Solos

O mapa de solos da Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité encontra-se reproduzido na FIGURA 04 .

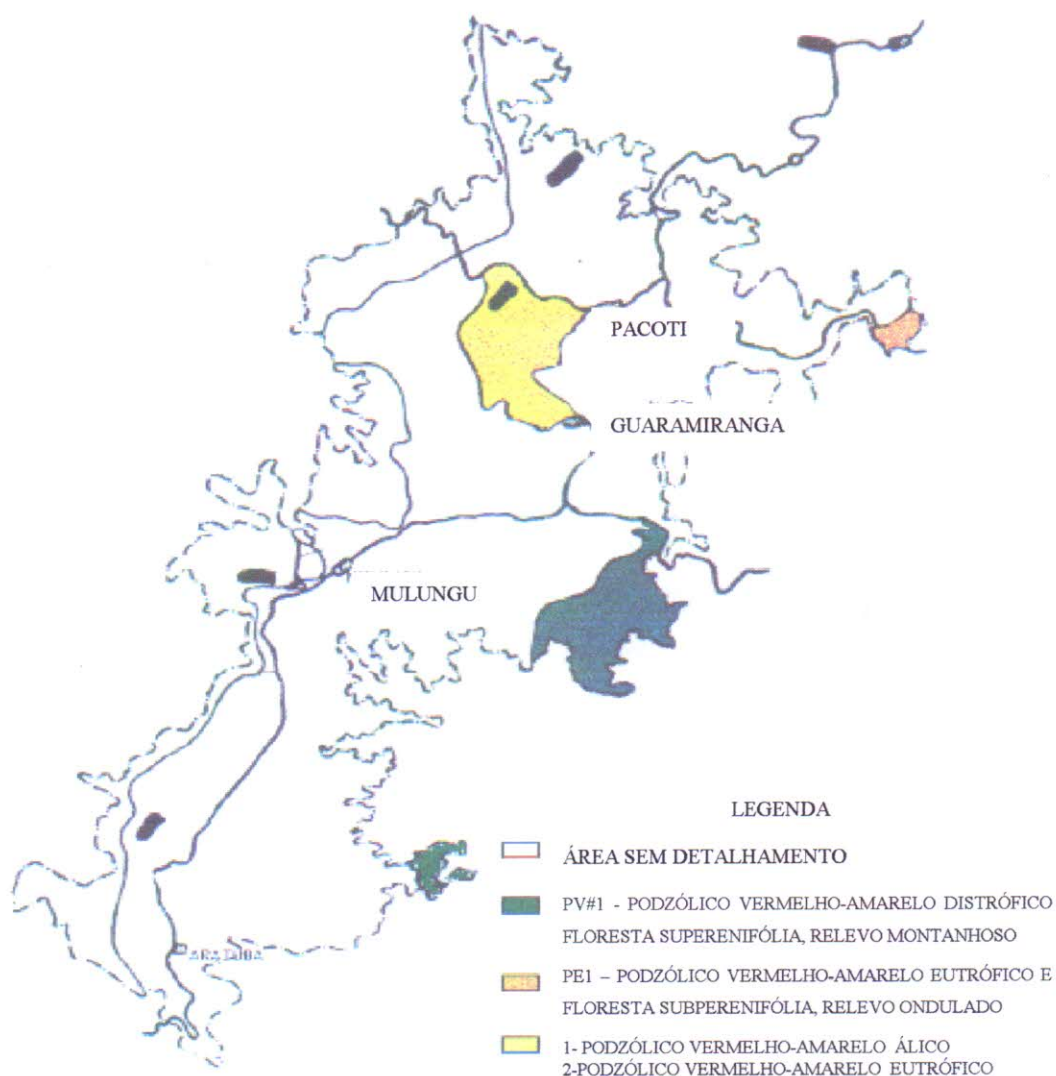


FIGURA 04 –Mapa de solos da APA de Baturité – in: FERNANDES (2000), adaptado.

O conhecimento dos solos constitui uma das principais bases nos programas de planejamento territorial, tornando possível a implementação de ações voltadas para o desenvolvimento da agricultura e controle de erosão, bem como de técnicas de manejo e conservação dos solos e aumento da produtividade agrícola. Assim sendo, apresenta-se a seguir uma breve descrição das principais características dos solos predominantes em Redenção-CE, cujo estudo que ora se apresenta foi elaborado por (CORDEIRO, 1999).

3.5.1 Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico

Estes solos são bem desenvolvidos possuem textura arenosa a franco-argilo-arenosa, de tonalidade bruna a acizentada, têm elevado potencial agrícola, dependendo da disponibilidade hídrica e das condições de relevo (COGERH, 1999). São utilizados para o cultivo de milho, feijão, mandioca, algodão e pecuária extensiva. Entretanto, para a agricultura, necessita de práticas de conservação nas áreas de relevo suave ondulado e de maior complexidade, à medida que o relevo vai se tornando mais movimentado. Também é necessária a prática de adubação. Na maior parte das áreas ocupadas por estes solos, a principal limitação é a falta d'água.

O relevo plano e suave-ondulado, que ocorre nos solos potencialmente irrigáveis, favorece o uso intensivo de máquinas agrícolas, porém cuidados devem ser adotados no que se refere ao tipo de maquinaria e à intensidade das práticas agrícolas, particularmente nos solos com textura superficial leve, para evitar a ocorrência de erosão.

Segundo JACOMINE et al. (1973), estes solos abrangem áreas significativas da serra de Baturité, compreendendo também os Municípios de Pacoti, Guaramiranga, Mulungu, Aratuba e Redenção. As principais características são: extensão – 310, 00 km²; litologia e material originário – gnaisse, migmatito e granito; relevo e altitude - forte ondulado e montanhoso com 700 a 1.000 metros; vegetação primitiva – floresta subperenifólia.

3.5.2 Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico

JACOMINE et al. (1973) informam que este solo abrange áreas das zonas de Baturité e sertão Centro-Norte, compreendendo partes dos Municípios de Palmácia, Redenção, Pacoti, Baturité, Aratuba, Capistrano, Caridade e Maranguape. As principais características são: extensão – 757,50km²; litologia e material originário – gnaisse e granito; relevo e altitude - forte ondulado e montanhoso; 400 a 900 metros; vegetação primitiva – floresta subcaducifólia e subperenifólia.

Segundo COGERH (1999), estes solos são bastante utilizados no cultivo de milho, feijão, mandioca, algodão e na pecuária extensiva.

3.5.3 Podzólico Vermelho-Amarelo Álico

Segundo COGERH (1999), são solos fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural. São bem diferenciados, apresentam-se de profundos a muito profundos, com textura arenosa. As cores ficam entre vermelho amarelo e amarelo avermelhado.

Para JACOMINE et al. (1973), o uso na agricultura restringe-se às culturas de subsistência (mandioca, milho e feijão) e pequenos plantios de algodão, destacando-se também o cajueiro. É limitado, pois possui baixa fertilidade natural e forte acidez, fazendo-se necessário o uso de corretivos em quantidades elevadas por hectare. Apresenta relevo plano e suave ondulado que proporciona totais condições ao uso de máquinas agrícolas. A irregularidade na distribuição das precipitações pluviométricas constitui, também, forte empecilho ao seu uso agrícola; corresponde a 298,75km² de extensão.

3.6 Erosão do Solo

Segundo MARQUES (1995), quanto à sua origem, a erosão pode ser natural ou geológica e acelerada ou antrópica. A primeira é causada por fenômenos naturais que agem constantemente na crosta terrestre, independentemente da ação do homem, fazendo parte

da própria formação do solo, e seu efeito carece de importância imediata. A segunda origina-se da ação direta do homem sobre o solo, a qual se estabelece quando são destruídos os elementos naturais do equilíbrio e constitui um fenômeno de alto significado econômico e social, especialmente em razão da rapidez com que o processo ocorre. O uso humano do solo, quer através da agricultura ou de outra atividade humana, representa fator decisivo de aceleração dos processos erosivos.

LÓPEZ (1997) define erosão acelerada do solo como sendo a alteração do equilíbrio natural entre perda e regeneração do solo, causada pelo homem, que resulta em maior quantidade de solo perdido do que a quantidade regenerada, por unidade de tempo.

A erosão do solo, como um fenômeno natural, tem ocorrido sempre e continuará a ocorrer, entretanto o homem tem acelerado este processo através de desmatamentos e do aproveitamento do solo para práticas da agricultura.

3.6.1 Situação atual da área de estudo

O presente relato se baseia em impressões colhidas no campo em depoimento de antigos habitantes proprietários e arrendatários de glebas nas áreas na serra de Redenção-CE, onde se encontra a bacia hidrográfica da barragem Eugênio Gudín (Acarape do Meio), somadas ainda às informações obtidas em "Sustentabilidade das propriedades rurais de Redenção-CE" - Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Redenção, 2002, como também aos estudos de GADELHA (1996).

3.6.1.1 Evolução da ocupação agrícola na serra

A ocupação agrícola da serra de Redenção-CE data, pelo menos de dois séculos. No início do século XIX o café e a laranja eram as duas culturas predominantes. O café, plantado em sobreamento, parece ter sido a riqueza mais importante da região, até seu declínio por volta dos anos 1970. Com o declínio dessa cultura, a banana ganhou impulso,

dando início ao plantio de grandes bananais. A mata, utilizada para o plantio de bananeiras, começou a ser derrubada, acelerando a taxa de erosão na região.

Os antigos plantadores de bananas são unânimes em acusar a ocupação indiscriminada das encostas como causadora dos escorregamentos em grande escala no período de chuva.

É evidente na região o efeito devastador das queimadas (localmente chamadas de "brocas" ou "brocamentos"), que impedem a regeneração da floresta. A ausência de árvores é apontada como fator que favorece a infiltração da água e "amolecimento" do terreno, ocasionando os escorregamentos (apropriadamente chamados de "derretidos").

As matas "virgens" estão hoje reduzidas a capões isolados, restritos, em boa parte, a terrenos tidos como "impróprios" para a prática da agricultura.

As terras na região também foram exploradas, desde o início do século passado, com a cultura de cana-de-açúcar. Essa cultura foi responsável pela implantação de vários engenhos na região. Infelizmente, ocorreu a queda da produtividade da cana-de-açúcar na região da prática de queimadas e conseqüentemente da pobreza do solo, o que ocasionou a decadência desta atividade nos anos 1980. A região é trabalhada com implementos manuais como enxadas, foices, facões etc., sendo a mecanização impossibilitada pela declividade da serra em certas áreas. Hoje, as antigas plantações de cana-de-açúcar foram parcialmente substituídas por fruticultura e hortaliças. Verifica-se também que praticamente não existe combate à erosão no Município

Observa-se que as práticas da agricultura em Redenção-CE contribuíram para acelerar a erosão, como já detectada por FERNANDES (2000), que estudando a bacia hidrográfica da barragem Eugênio Gudín (Acarape do Meio), concluiu que a erosão comprometeu 10% da capacidade de armazenamento do reservatório entre 1924 a 2000.

3.6.2 Os impactos da erosão do solo no ambiente

Pode-se considerar os impactos causados pelos processos erosivos em duas categorias: os impactos ao nível de propriedades agrícolas, geralmente chamados de **on farm, on site** (intrínsecos e internos), e aqueles fora das propriedades agropecuárias: **off farm, off site** (extrínsecos e externos) (DANTAS, 1995).

Para fora da unidade produtiva, a erosão acarreta vários danos aos recursos hídricos. Segundo MOTTA (1991), pode-se dividi-los em dois grupos: os impactos que ocorrem dentro dos recursos hídricos e fora destes.

- a) Impactos sobre os recursos hídricos: impactos biológicos e na recreação; danos ao armazenamento de água nos reservatórios, entre outros.
- b) Impactos fora dos recursos hídricos: danos por enchentes, aumento dos custos de tratamento de água, danos aos canais de condução de água, entre outros.

O problema em se estudar todos estes impactos do processo erosivo reside na falta de dados técnicos suficientes sobre cada tópico ora descrito.

São escassos os trabalhos sobre os impactos da erosão do solo na serra de Redenção-CE, restringindo-se ainda mais quando se considera a bacia hidrográfica da barragem Eugênio Gudín (Acarape do Meio).

Segundo MARQUES (1995), o problema causado pelo assoreamento nos diversos tipos de reservatório é o levantamento do leito diminuindo a vida útil. Antes do assoreamento total, com a perda do volume morto, por exemplo, há uma elevação do material em suspensão. As comportas de retiradas dos sedimentos podem ficar presas pela quantidade de material, impossibilitando sua abertura. As correntes ascendentes das partículas vão subindo e aumentando, podendo passar pelo conduto, indo prejudicar a operação das máquinas responsáveis pela retirada de água do reservatório.

Em resumo, pode-se prever que a barragem Eugênio Gudín (Acarape do Meio) tem sua vida útil reduzida, na medida em que o volume útil passe a ser ocupado por cargas de sedimentos, o que leva ao assoreamento do reservatório antes do período previsto.

Além do assoreamento do açude, conforme MARQUES (1995), a erosão hídrica do solo, através do processo de sedimentação nos reservatórios, eleva os custos do tratamento de água, em razão principalmente do aumento do consumo de produtos químicos na estação de tratamento para remover a turbidez elevada na água bruta que chega à estação para ser tratada.

Os sedimentos também reduzem a capacidade de armazenamento dos açudes, alteram a temperatura da água e fornecem, através dos nutrientes associados, um meio propício para o crescimento de plantas aquáticas, comprometendo a qualidade da água para o abastecimento na região.

Sabe-se que áreas com erosão diminuem a qualidade da água, principalmente pelo aumento da turbidez em razão do excesso de sedimentos em suspensão. Para RUTH et al. (1991), como medidas para evitar a erosão acelerada do solo, exige-se um planejamento do emprego do solo com base no mapeamento do uso atual. Considerando-se diferentes classes de uso (agricultura, pastagens, reflorestamento), é necessário um plano conservacionista para utilização futura e implementado passo a passo. Todas as operações de preparo do solo devem, portanto, estar voltadas para a manutenção de grandes quantidades de restos vegetais sobre a superfície para garantir boa cobertura do solo.

3.7 Método de análise

O estudo será feito estimando-se a função de produção, derivando a demanda condicionada e de custo no tratamento de água. A função de produção, segundo FERGUSON et al. (1972), "indica a máxima quantidade de produto que pode ser obtida a partir de uma dada quantidade de fatores". É a representação algébrica da tecnologia. Uma função de produção descreve o que é tecnicamente viável de se produzir quando uma firma faz cada combinação de fatores, selecionando adequadamente os processos de produção.

Considere-se a seguinte representação da função de produção:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

onde, se denomina por X_1, X_2, \dots, X_n as quantidades (de serviços) dos fatores usados na produção da quantidade Y de produto.

3.7.1 Forma algébrica da função de produção³:

Segundo DILLON E HARDAKER (1994), a forma funcional deve ter como principal requisito apresentar, no intervalo de interesse pertinente, o produto marginal positivo e decrescente. Em adição, deve-se observar se a forma funcional representa

³ Maiores detalhes sobre as características da função de produção poderá ser vista em PINHEIRO (1998) e KLEIN (1978).

adequadamente o processo de produção, se é de fácil estimação e coerente com a teoria econômica. Este modelo foi utilizado em diversos trabalhos científicos para explicar o processo produtivo, entre os quais tem-se: PINHEIRO (1998), SILVA (1996), KHAN & SILVA (1997), RATHOR (1984) e MOURA (1999).

O modelo econométrico para determinação do relacionamento entre as variáveis dependente e independente está representado pela seguinte equação:

$$Y = AX_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \dots X_n^{\alpha_n} \varepsilon, \quad (2)$$

onde:

Y_i = variável dependente;

A = constante;

α_1, α_2 e α_n são parâmetros da função;

X_1, X_2 e X_n são variáveis independentes

ε é o erro aleatório.

As principais características são:

- a) os expoentes α_i representam as elasticidades parciais de produção;
- b) os rendimentos de escala são representados pela soma dos expoentes;
- c) o valor do produto marginal de um fator é dado pela multiplicação do valor do seu produto médio pelo coeficiente de elasticidade;
- d) as curvas de isoproducto são assintóticas aos eixos;
- e) a curva de isoproducto de substituição de X_1 por X_2 é dada pela razão entre as respectivas produtividades marginais;
- f) a combinação ótima dos fatores produtivos mantém uma proporção constante, sendo independente do nível de produção.

O modelo Cobb-Douglas apresenta algumas limitações, tais como: a) não permitir explicar os diferentes estágios de produção, pelo fato de as elasticidades de produção parcial e total serem constantes; b) as isoquantas são assintóticas em relação aos eixos, significando que os fatores podem ser combinados de forma ilimitada; e, c) a função demonstra que a proporção ótima entre dois fatores é constante, porque as isoclinas são retas que passam pela origem.

Estas restrições do modelo Cobb-Douglas fizeram com que os economistas procurassem explicar um modelo matemático da função de produção que possibilitasse retorno variável à escala. Assim sugeriram vários modelos, tais como: Tipo Transcendental, Tipo CES, Translog, entre outros.

O modelo utilizado nesta pesquisa surgiu em 1970, desenvolvido por Ulvelin & Fletcher, e torna-se útil quando existem variáveis relevantes que influenciam a produção de forma indireta. Posteriormente, foi empregado por autores tais como: BALL (1974); ANTLE (1983), entre outros.

Algebricamente, esta forma funcional pode ser descrita, por:

$$Y = AX_1^{\beta_1(k_j)} X_2^{\beta_2(k_j)} \dots X_n^{\beta_n(k_j)} \quad (3)$$

onde:

Y representa a produção;

X_1 , X_2 e X_n são os fatores empregados; e,

$\beta_1(K_j)$, $\beta_2(K_j)$, $\beta_n(K_j)$ são as elasticidades parciais de produção, as quais são funções da variável K.

As principais características são:

a) o produto físico médio de um fator de produção X_1 (PFMe $_{x_1}$) qualquer é positivo e decresce, se $\beta_1(K_j) < 1$, à medida que se intensifica o uso desse fator, mantida constante a variável K_j . É definido como a relação entre o volume produzido (ou valor total da produção) e a quantidade do fator utilizado, onde:

$$PFMe_{x_i} = \frac{Y}{x_i} = \frac{AX_1^{\beta_1(k_j)} X_2^{\beta_2(k_j)} \dots X_i^{\beta_i(k_j)} \dots X_n^{\beta_n(k_j)}}{X_i} > 0 \quad (4)$$

b) o produto físico marginal de um fator X_1 (PFMax $_{x_1}$) qualquer é sempre positivo se $\beta_1(K_j) > 0$ e decresce, se $\beta_1(K_j) < 1$, à medida que se intensifica o uso desse fator, mantida constante a variável K_j . É definido como a alteração na produção decorrente da variação de uma unidade do fator de produção.

$$PFMax_{x_i} = \frac{\partial Y}{\partial X_i} = \beta_i(k_j) AX_1^{\beta_1(k_j)} X_2^{\beta_2(k_j)} \dots X_i^{\beta_i(k_j)-1} \dots X_n^{\beta_n(k_j)} = \beta_i(k_j) \left(\frac{Y}{X_i}\right) > 0 \quad (5)$$

c) a elasticidade parcial de produção do fator X_i (ε_{x_i}) é variável e está relacionada à variável K_j . É definida como a relação entre a variação relativa da produção e a variação relativa do fator de produção, é variável, e depende de k_j , sendo expressa por:

$$\varepsilon_{x_i} = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot \frac{X_i}{Y} \left\{ \beta_i(k_j) \left[\frac{Y}{X_i} \right] \right\} \left[\frac{X_i}{Y} \right] = \beta_i(k_j), \text{ e} \quad (6)$$

d) os retornos à escala são obtidos através do somatório das funções $\beta_i(K_j)$, sendo conseqüentemente variáveis,

$$G = \sum_{i=1}^n \beta_i(k_j), \text{ onde } G \geq < 1 \quad (7)$$

Portanto, G poderá assumir um valor maior, menor ou igual a 1, o que implicará retornos a escalas crescentes, decrescentes ou constantes, respectivamente.

Segundo SILVA (1996), pode-se relacionar como principais vantagens deste modelo: i) o fato de as elasticidades parciais de produção serem dadas diretamente através das expressões $\beta_i(k_j)$; ii) a facilidade da obtenção dos rendimentos à escala, os quais são obtidos pela simples soma dos $\beta_i(k_j)$; iii) simplicidade do cálculo das produtividades médias pelo coeficiente de elasticidade do respectivo fator; e iv) as elasticidades parciais e total serem variáveis.

O modelo apresenta algumas limitações tais como:

a) a função não apresenta ponto de máximo, visto que o produto físico marginal não atinge valor zero.

b) a função implica a pressuposição de que todos os fatores são disponíveis à produção, pois qualquer valor nulo para uma das variáveis explanatória implicará valor nulo para a produção (variável dependente).

c) a característica assintótica das isoquantas aos eixos das coordenadas implica que os fatores de produção podem ser combinados de forma ilimitada para obter uma determinada produção, o que não é real, pois, como é facilmente observável, principalmente em

processos de produção na agricultura, a partir de certo ponto, a produtividade marginal dos fatores é nula e poderá até mesmo ser negativa.

3.7.1.1 Demanda dos fatores

Para determinar a influência da turbidez na demanda por água bruta da estação, aplicar-se-á a teoria da dualidade no modelo (3), através do qual submete-se a lagrangeano, onde se deve minimizar custo, tendo como restrição a função de produção. Portanto, pode-se derivar as equações de demanda condicionadas dos fatores a partir de uma função de produção estimada, considerando as condições ótimas correspondentes ao caminho de expansão da firma⁴. Assim tem-se que:

$$\text{Minimizar a equação de custo } C = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_n X_n; \quad (8)$$

$$\text{Sujeita a função de Produção } Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n); \quad (9)$$

Onde:

C = custo de produção;

X_1, X_2, \dots, X_n são os variáveis independentes;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ são os parâmetros da função.

Aplicando lagrangeano, tem-se:

$$L = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_n X_n + \lambda (Y - F(X_1, X_2, \dots, X_n)) \quad (10)$$

Derivando-se parcialmente, respeitando as $(n+1)$ X_1, \dots, X_n, λ , e igualando a zero, supondo-se em geral que as condições de segunda ordem são satisfeitas, tem-se:

$$\frac{\partial L}{\partial X_1} = \frac{\partial L}{\partial X_2} = \dots = \frac{\partial L}{\partial X_n} = \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \quad (11)$$

Resolvendo o sistema de equação simultânea, assim se encontram as demandas condicionadas dos fatores:

$$X_i^C = X_i (P_i, Y_i); \quad (12)$$

onde:

$$X_i^C = \text{demanda condicionada};$$

⁴ "O caminho de expansão é uma isolinha particular, ao longo do qual o produto expande-se-á quando os preços dos fatores permanecem constantes. Então, o caminho de expansão mostra como variam as proporções dos fatores quando o produto e as despesas variarem, permanecendo constantes os preços dos insumos" FERGUSON et al. (1972)

P_i = preço do fator;

Y_i = quantidade produzida.

Estas equações são homogêneas de grau zero em preços.

3.7.2.2 Função de custo indireto

Dadas as funções X_i^C de demanda condicionadas dos fatores que minimizam custo para encontrar a função de custo indireto, basta multiplicar as equações de demanda condicionadas pelo preço do fator, sendo dada por:

$$C_i = \sum_i^n P_i X_i^C \quad (13)$$

onde:

C_i = custo indireto de produção;

P_i = preço do n-insumo; e,

X_i^C = demanda condicionada;

3.7.3 Modelo empírico

Considerando que algumas variáveis, tais como a turbidez (t), não são propriamente insumos que entram diretamente na produção mas que interferem indiretamente através de outras variáveis, ao modificarem suas respectivas elasticidades.

Tendo como base que o modelo Ulveling-Fletcher, este poderá ser utilizado em processos de produção em que, por hipótese, uma ou mais variáveis explanatórias influenciam a produção, não de forma direta e sim indiretamente através das elasticidades parciais de produção de uma ou mais variáveis explanatórias incluídas no modelo.

O modelo econométrico da função de produção do tipo Ulveling-Fletcher empregado nesta pesquisa pode ser expresso como:

$$Y_i = X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3(T_i)} X_4^{\beta_4} X_5^{\beta_5} \varepsilon \quad (14)$$

onde,

Y_i representa a quantidade de água tratada mensal (m^3);

X_1 é a quantidade de água bruta (m^3);

X_2 é a despesa mensal com mão-de-obra em reais de junho 2001;

X_3 é quantidade de energia elétrica utilizada em Kw/h mês;

T_i é a turbidez da água bruta;

X_4 é quantidade de cloro em kg/mês;

X_5 é a quantidade de coagulantes em kg/mês;

ε é o erro aleatório.

Considerando $\beta_3(T_i) = \beta_3(K_j)$, dessa forma, a variável K_j passa a influenciar as elasticidades parciais de produção e, conseqüentemente, os retornos à escala.

Admitindo-se que K_j seja variável observada e contínua na forma logarítma, tem-se:

$$\ln Y = \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3(K_j) \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + \beta_5 \ln X_5 + \ln \varepsilon_i \quad (15)$$

A função $\beta_i(K_j)$ possui a vantagem de assumir as mais variadas formas, ou seja, 'permitindo testar hipóteses de que diversas variáveis influenciam as elasticidades parciais, ou de que variáveis diferentes influenciam cada uma das elasticidades separadamente' (CAMARGO, 1974 *apud* SILVA, 1996)⁵. Este modelo pode ser estimado pela aplicação do método dos mínimos quadrados, com o emprego dos testes estatísticos apropriados.

3.8 Modelo de regressão defasada

Este modelo foi adotado para se determinar a influência da precipitação pluviométrica sobre a turbidez da água bruta. Segundo SALES (1999), ao se construir um modelo econométrico, é importante reconhecer que existe um determinado lapso para que

⁵ SILVA, L. A. C. A função de produção da agropecuária brasileira: Diferenças regionais e evolução no período 1975-1985. 1996. 137p. Tese (Doutorado em Ciência)-Departamento de Economia Aplicada/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

a variável dependente possa responder aos estímulos da variável independente. Quando este período é relativamente grande, deve-se incluir nos modelos variáveis defasadas.

Este modelo, detalhado por KMENTA (1978), já foi utilizado por autores tais como: HARRIS (1987), GUILHOTO (1992) e MATOS (1997). Trata-se de uma regressão na qual as variáveis independentes são defasadas e pode ser expressa da seguinte forma:

$$\text{Ln}T_t = \beta_0 \text{Ln}P_{t-k} + \varepsilon_t \quad (16)$$

onde:

k = representa (1,2,3,4...n)período;

Ln= logaritmo neperiano;

β_0 = intercepto;

T = A variável dependente (T_t) é turbidez da água bruta da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Redenção-CE, expressa em uT (unidade de turbidez), durante o período de jan/98 a jun/01.

P_{t-k} = precipitação pluviométrica média mensais na região para o período jan/98 a jun/01, em mm no mês t-k ($k=2,3,4,\dots,n-1$).

ε_t = erro aleatório.

3.9 Fonte dos dados

Os dados utilizados nesta dissertação foram obtidos na CAGECE. São planilhas mensais de preços e quantidades de insumos utilizados para o tratamento de água no período de janeiro de 1998 a junho de 2001, sendo que os dados são referentes à Estação de Tratamento de Água em Redenção-CE.

Os valores de precipitação pluviométrica foram obtidos na FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos).

Todos os preços foram expressos em reais e deflacionados segundo o IGP-FGV (base: junho/2001=1,00).

Sendo assim, as variáveis do modelo econométrico (14) foram, a saber: água bruta, mão-de-obra, energia elétrica, turbidez, cloro, coagulantes.



3.9.1 Descrição das variáveis

3.9.1.1 Variável dependente

A variável dependente (Y) é a quantidade de água tratada mensalmente pela Estação de Tratamento de Água (ETA) de Redenção-CE, expressa em m^3 , durante o período de jan/98 a jun/01.

3.9.1.2 Variáveis independentes

a) Água bruta (X_1) refere-se à quantidade de água bruta (mensal) utilizada pela ETA de Redenção-CE, em m^3 , no período de jan/98 a jun/01. Como a água bruta é um fator de produção primordial no tratamento de água, é esperada uma relação positiva entre X_1 e Y.

b) Mão-de-obra (X_2), isto é, as despesas mensais da ETA com mão-de-obra durante o período em estudo. Vale ressaltar que nesta variável foram incluídas as despesas com todos os funcionários da ETA, ou seja, dois funcionários públicos efetivos, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), e dois outros contratados temporariamente por prestadoras de serviços. Essa variável não pode ser desagregada em duas categorias, por não ser possível separar as atividades desenvolvidas por elas. Espera-se que esteja sendo utilizada racionalmente no processo produtivo, apresentando uma relação positiva com a variável dependente (Y).

c) A variável (X_3) é a quantidade de energia elétrica mensal durante o período de jan/98 a jun/01, utilizada pela ETA em Kw/h. Deve-se esperar uma relação positiva entre esta variável e a produção de água tratada Y.

d) A variável (K_j) representa a turbidez da água bruta (média mensal), expressa em uT, durante o período de jan/98 a jun/01.

Em princípio, é esperada uma relação negativa entre T e Y_1 , considerando-se que a turbidez elevada dificulta o tratamento da água e influencia a produção de forma indireta.

O parâmetro turbidez (T) compõe a variável (K_j). Esta variável influenciará a elasticidade de produção de água tratada (Y). *A priori* espera-se uma relação negativa entre K_j e Y.

e) A variável (X_4) isto é, a quantidade utilizada de cloro em kg/mês, no período de jan/98 a jun/01, utilizada pela ETA de Redenção-CE. Deve-se esperar uma relação positiva entre esta variável e a produção de água tratada Y.

e) A variável coagulante (X_5) representa a quantidade utilizada de coagulantes em kg/mês, no período de jan/98 a jun/01 da ETA de Redenção-CE. A ETA utiliza como coagulantes os produtos químicos hidróxido de alumínio (polímero de alumínio) e o sulfato de alumínio. Esses produtos foram considerados juntos pelo fato de possuírem a mesma função no tratamento de água. Espera-se uma relação positiva entre a variável X_5 com a produção Y.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Função de produção

Foram testadas diversas especificações da função ULVELING & FLETCHER (1970) para identificar a que melhor apresentasse a alocação dos fatores de produção no setor de tratamento de água, dados a disponibilidade de informações e os objetivos propostos nesta dissertação.

A escolha da função de produção fez-se com base na significância estatística dos coeficientes estimados, na coerência dos sinais e na magnitude do coeficiente de determinação múltiplo ajustado.

O modelo estimado para a produção de água tratada ficou assim estabelecido:

$$\text{Ln}Y = \beta_1 \text{Ln}X_1 + \beta_2 \text{Ln}X_2 + \beta_3 \text{Ln}X_3 + T.D.\beta_i \text{Ln}X_3 + \beta_4 \text{Ln}X_4 + \beta_5 \text{Ln} \varepsilon \quad (17)$$

Onde:

Ln é o logaritmo neperiano;

β 's são os paramentos estimados;

Y é a quantidade de água tratada mensal em m³;

X₁ é a quantidade de água bruta mensal em m³;

X₂ são as despesas com mão-de-obra mensal;

X₃ é a quantidade de energia elétrica mensal em kw/mês;

T é turbidez da água bruta mensal uT;

D é a variável *dummy* (considerando cloro);

X₄ é a quantidade de coagulantes mensal em kg/mês.

A estimativa pelo método dos mínimos quadrados está mostrada na TABELA 03.

TABELA 03 - Coeficientes da equação de produção estimada do tratamento de água em Redenção-CE, no período de jan/1998 a jun/2001.

Variáveis	Estimativa	Erro-padrão	t-student	Prob
LnX ₁	0,867367***	0,005883	147.4472	0,0000
LnX ₂	0,040438**	0,021063	1,919886	0,0549
LnX ₃	0,129861***	0,024343	5,334707	0,0000
T.D.LnX ₃	-1,18E-04*	1,38E-05	-0,855785	0,3921
LnX ₄	0,017385**	0,008580	2,026294	0,0427
R ² = 0,95				
d = 1,7822				

FONTE: Dados da Pesquisa

*** Significância ao nível de 1% de probabilidade

** Significância ao nível de 5% de probabilidade

* Não significativo

O modelo escolhido, cujos parâmetros estimados encontram-se na TABELA 03, foi o que apresentou maior número de coeficientes estatisticamente significativos, pelo menos ao nível de 1% , 4% e 5% para as variáveis água bruta (LnX₁) e energia elétrica (LnX₃), quantidade de coagulantes (LnX₄) e despesas com mão-de-obra (LnX₂), respectivamente, exceto a variável T.D.LnX₃, que não foi significativa ao nível de significância usualmente praticado.

A equação de produção de água tratada estimada apresenta retornos à escala constantes, pois a soma das elasticidades parciais é igual à unidade.

A estatística de Durbin-Watson foi calculada para verificar a presença ou ausência de autocorrelação serial nos resíduos(TABELA 03).

Na TABELA 03 tem-se o valor de Durbin-Watson (d= 1,78228). A tabela de valores críticos da estatística d para nível de significância de 5%, quatro variáveis explicativas e n = 42, fornece o limite inferior de d_l = 1,2885 e o limite superior d_u = 1,721.

O valor de d = 1,7822 pertence à região de ausência de autocorrelação. Portanto, pode-se aceitar a hipótese de ausência de autocorrelação serial.

A análise da função de produção (TABELA 03) mostrou que cerca de 95% das variações na produção de água tratada são explicados pelas variações nas variáveis incluídas no modelo (R² = 95%).

A quantidade de água bruta (LnX_1) foi a variável que mais influenciou as variações na produção, pois a elasticidade parcial de produção é de 0,86, com coeficiente significativo a 1%, ou seja, na produção de água tratada, a quantidade de água bruta é a variável mais importante e, na ocorrência de qualquer alteração nesta variável, a quantidade de água tratada na ETA será alterada significativamente.

Despesas com mão-de-obra (LnX_2) apresentam coeficiente de elasticidade parcial de produção positivo, indicando que a mão-de-obra está sendo utilizada racionalmente no processo produtivo. Seu coeficiente foi significativo a 5%.

A energia elétrica (LnX_3), que possui uma elasticidade parcial de produção de 0,13, também está sendo utilizada adequadamente no processo de tratamento de água com coeficiente significativo a 1%.

A variável (T.D.LnX_3) mostrou-se não significativa a valores usualmente praticados. Isto não quer dizer que o seu uso não seja importante no processo produtivo, considerando que apresentou sinal teoricamente correto, conhecido empiricamente. Seu valor negativo de 0,000118 indica que o aumento da turbidez da água bruta diminui a produtividade da energia elétrica, ou seja, no período de turbidez alta, a ETA precisa utilizar uma quantidade maior de energia elétrica, principalmente para lavagem dos filtros que ficam mais propensos a excesso de partículas de solos que vêm na água pela erosão e enxurradas na região.

Vale salientar que a turbidez da água bruta oscila freqüentemente, em especial durante o período chuvoso, no processo de tratamento de água. Durante vinte quanto horas de trabalho na estação, pode-se ter turbidez mínima pela manhã e turbidez elevada durante a noite, em razão das chuvas intensas na bacia hidrográfica do açude que abastece a estação. Como se utiliza neste modelo a média mensal da turbidez da água bruta, estes picos não são mostrados. Por outro lado, não existe outro meio de incluir turbidez no modelo em virtude de outras variáveis (água bruta, energia elétrica, coagulantes, cloro) serem valores mensais.

Para estimar a equação de tratamento de água, utilizou-se uma variável *dummy* para incluir a variável cloro no processo de tratamento de água.

É necessário esclarecer que antes de um produto ser empregado em larga escala no tratamento de água para abastecimento, é exigido que o mesmo seja submetido à aprovação de órgãos responsáveis pela saúde pública, comprovando a impossibilidade de

se observar efeitos fisiológicos adversos nos consumidores, sendo no Brasil o Ministério da Saúde responsável pela edição de portarias.

O Ministério da Saúde, através da Portaria 36/MS/90, estabelece que a concentração mínima do cloro residual, em qualquer ponto da rede de distribuição, deverá ser de $0,2\text{g/m}^3$. Os dados de consumo deste produto para a ETA de Redenção-CE estão na TABELA 04.

TABELA 04 - Consumo de cloro (g/m^3) durante o período jan/98 a jun/01 na ETA de Redenção-CE.

Mês ⁶	Cloro g/m^3
Janeiro	8,52
Fevereiro	7,18
Março	8,99
Abril	7,72
Maio	9,52
Junho	8,19
Julho	7,46
Agosto	6,29
Setembro	6,04
Outubro	6,32
Novembro	5,08
Dezembro	6,00
$X_{\text{máximo}}$	9,52
$X_{\text{mínimo}}$	5,08
Média	7,28
Desvio-padrão	1,47

Fonte: CAGECE(2001).

Na TABELA 04 tem-se os valores de consumo de cloro por (g/m^3) máximo e mínimo para a ETA de Redenção-CE que foram respectivamente $X_{\text{máx}} = 9,52\text{g/m}^3$ no mês de maio e $X_{\text{min}} = 5,08\text{g/m}^3$ no mês de novembro.

A média aritmética do período foi de $7,2\text{g/m}^3$ e apresenta um desvio-padrão $1,47\text{g/m}^3$ (TABELA 04).

O cloro tem a finalidade de agir sobre as bactérias e outros microorganismos, destruindo-os. Participa do tratamento de água na desinfecção (processo de tratamento pelo qual se eliminam os microorganismos patogênicos).

A priori, esperava-se que o cloro tivesse um impacto direto sobre a produção de água tratada. Após várias tentativas infrutíferas de ajustamento, chegou-se à conclusão de

⁶ Os dados citados na TABELA 04 referem-se a médias de consumo de cloro (g/m^3) nos últimos quatro anos.

que o cloro influi indiretamente, interagindo com a turbidez da água no sentido de reduzir a produtividade da energia elétrica no processo de tratamento. Escolheu-se o limite de $7,0\text{g/m}^3$ com base na média determinada na TABELA 04.

A variável *dummy* foi considerada da seguinte forma: $d=1$ – para valores de cloro acima de 7g/m^3 e $d=0$ – para valores de cloro abaixo de 7g/m^3 .

Coagulantes (LnX_4) apresentam elasticidade parcial de 0,017, portanto isto indica que está sendo utilizado racionalmente no processo produtivo ao nível de significância de 4%. Esses produtos devem ser empregados no tratamento de água sem perigo de efeitos fisiológicos adversos aos consumidores, desde que as dosagens obedeçam aos máximos estabelecidos pela Portaria 36/MS/90, de 19/10/90, do Ministério da Saúde.

4.2. Modelo de regressão defasada

Faz-se uma ressalva a respeito da turbidez da água bruta e a precipitação na região. Os valores médios destas variáveis estão na TABELA 05.

TABELA 05 - Valores médios mensais da turbidez da água bruta (uT) da ETA de Redenção-CE e da precipitação pluviométrica da região (mm), durante o período jan/98 a jun/01.

Mês ⁷	Turbidez uT	Precipitação mm
Janeiro	69,57	191,51
Fevereiro	96,82	130,51
Março	73,12	256,40
Abril	208,10	322,80
Maio	576,80	133,33
Junho	156,67	99,66
Julho	96,67	61,60
Agosto	102,57	45,58
Setembro	58,67	24,46
Outubro	69,85	5,69
Novembro	51,75	8,68
Dezembro	54,82	29,48
$X_{\text{máximo}}$	576,87	322,80
$X_{\text{mínimo}}$	51,75	8,68
Média	134,63	109,17
Desvio-padrão	146,65	102,65

Fonte: CACECE (2001) e FUNCEME (2001).

⁷ Os dados citados na TABELA 04 referem-se a médias nos últimos quatro anos.

Observa-se na TABELA 05 que a turbidez máxima é registrada no mês de maio ($X_{\text{máximo}} = 576 \text{ uT}$) e a turbidez mínima no mês de novembro ($X_{\text{mínimo}} = 51,75$)

O clima na região é caracterizado pela existência de maiores precipitações de janeiro a junho e o restante dos meses com precipitações inferiores a 50mm/mês. A média da precipitação pluviométrica foi de 109,17mm/mês.

No intuito de relacionar o comportamento da turbidez e precipitação pluviométrica mostrado na TABELA 05, foram estimadas regressões no modelo com e sem defasagem. Este procedimento permitiu detectar o efeito da defasagem no tempo, que é de dois meses.

Os coeficientes estimados estão mostrados na TABELA 06.

TABELA 06 - Equações estimadas entre turbidez (uT) e precipitação pluviométrica (mm) no período de jan/1998 a jun/2001.

Modelo	Equação
Equação c/ defasagem (t=2)	$\text{LnT} = 0,42\text{LnP} \quad R^2 = 0,7186$ (9.721)*

Fonte: Dados da Pesquisa

** Não significativo; * Significativo a 1%;

A equação estimada que relaciona turbidez e precipitação adequadamente é a equação com estrutura defasada por dois períodos (TABELA 06), tendo em vista o maior coeficiente de determinação $R^2 = 0,7186$, ou seja, indica que mais de 70% da variação no índice de turbidez da água bruta podem ser explicados pela variação na variável independente (precipitação pluviométrica) defasada em dois meses. A estatística 't' de Student comprovou que o coeficiente é estatisticamente diferente de zero a 1% de significância.

É importante frisar que a turbidez é também afetada por outros fatores que não puderam ser considerados neste estudo. Entre estes, pode-se citar o desmatamento da vegetação ciliar e a declividade dos rios etc.

Em síntese, esta equação indica que, quando inicia o período chuvoso, o solo está seco e possui maior capacidade de absorver a água da chuva. Passando-se um período de chuva, os riachos e rios começam a escorrer e tem-se um aumento no deslocamento de partículas do solo, fenômeno também conhecido por erosão, o que aumenta a turbidez num período posterior. Foi realizado um cruzamento destas informações para uma melhor compreensão (GRÁFICO 02).

4.2.1 Relação entre turbidez e precipitação

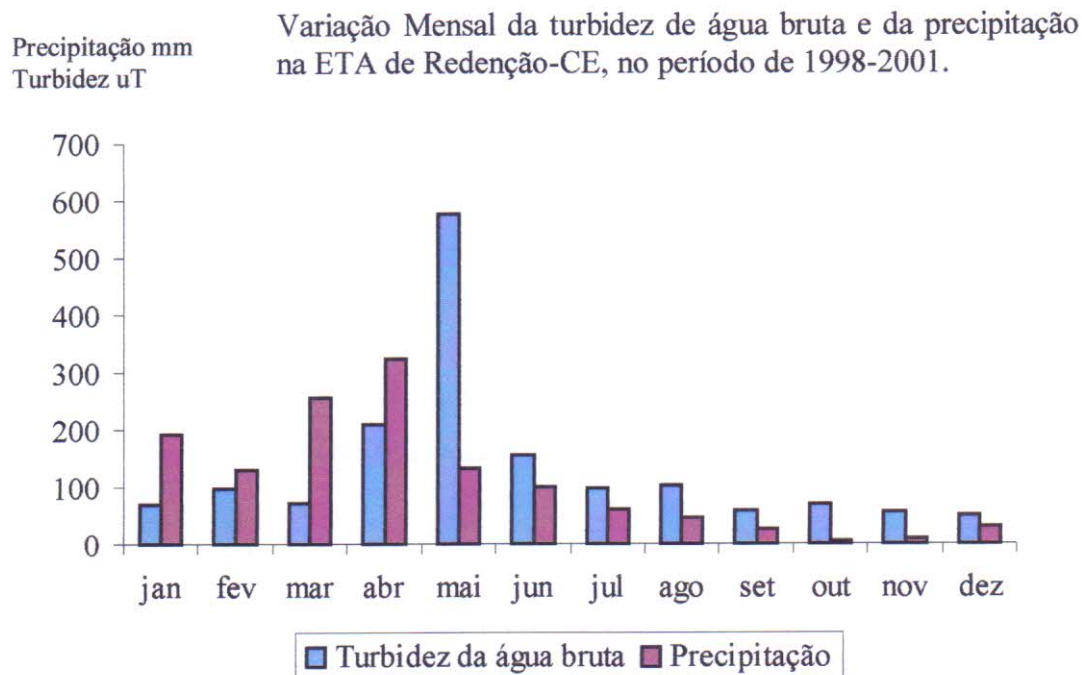


GRÁFICO 02- Variação da turbidez da água da precipitação

O GRÁFICO 02 mostra a variação mensal da turbidez da água bruta na ETA de Redenção-CE e a precipitação pluviométrica da região, durante o período de 1998 a 2001. Estes valores no gráfico são médias dos respectivos meses nos últimos quatro anos, sendo que, no ano de 2001, somente até junho. Observa-se que o mês de pico em precipitação é abril, ocasionando uma turbidez elevada no mês seguinte (maio). Os dois parâmetros analisados possuem queda acentuada no período seco do ano.

Feitas estas considerações, admitiu-se a existência de relações entre as variáveis turbidez e precipitação.

4.3 Demanda de fatores

Dada a função de produção estimada (TABELA 03) na forma linear, tem-se:

$$Y = X_1^{0,867367} X_2^{0,040438} X_3^{0,129861} - 0,000118 T.Dc X_4^{0,017385} \quad (18)$$

Para encontrar a influência da turbidez na demanda de fatores a partir desta função, substituiu-se dois pontos: a turbidez máxima e mínima observadas no período

jan/98 a jun/01 e a respectiva média geométrica das despesas com mão-de-obra. Assim, tem-se duas funções de produção de água, considerando dois pontos com turbidez máxima e outra com turbidez mínima, mostrados abaixo:

$$Y = 1,41X_1^{0,867367} X_3^{0,110661} X_4^{0,017} \quad (\text{turbidez máxima}) \quad (19)$$

e

$$Y = 1,41X_1^{0,867367} X_3^{0,13} X_4^{0,017} \quad (\text{turbidez mínima}) \quad (20)$$

A partir destas funções, as equações de demanda dos fatores água bruta (X_1), energia elétrica (X_3) e coagulantes (X_4) foram derivadas e são apresentadas a seguir.

4.3.1 Demanda por água bruta

As equações de demanda por água bruta estimada a partir das equações de produção (19) e (20) são as seguintes:

$$X_1 = 0,97YP_1^{-0,127} P_2^{0,11} P_3^{0,017} \quad (\text{turbidez máxima}) \quad (21)$$

e

$$X_1 = 0,99YP_1^{-0,14} P_2^{0,13} P_3^{0,017} \quad (\text{turbidez mínima}) \quad (22)$$

Por estas equações, constata-se que há uma relação inversa entre as variáveis preço de energia (P_2) e preço dos coagulantes (P_3) com preço da água bruta (P_1). As magnitudes dos coeficientes dessas variáveis indicam uma sensibilidade maior da demanda por água bruta ao próprio preço desse fator que ao preço da energia elétrica e do coagulante.

A relação inversa entre a demanda por água bruta e seu preço (P_1) está coerente com a teoria econômica, ou seja, para um aumento no preço da água bruta sua demanda diminuirá (*Ceteris paribus*).

Para encontrar a demanda por água bruta durante o período de jan/98 a jun/01, substituiu-se a produção da água tratada, os preços dos insumos, nos pontos de turbidez máxima e mínima, nas equações encontradas (21) e (22). Assim tem-se:

$$X_1 = 0,97 (192.153,00)^{-0,127} (0,2275)^{0,11} (1,025)^{0,017} = 165.802,18 \text{ m}^3 \quad (23)$$

$$X_1 = 0,99(64.545,00)(0,028)^{-0,14}(0,2328)^{0,13}(0,7291)^{0,017} = 86.750,27\text{m}^3 \quad (24)$$

Portanto, as demandas por água bruta da ETA de Redenção-CE, durante o período de jan/98 a jun/01, foram, respectivamente, 165.802,18m³/mês com nível de turbidez máxima e 86.750,27/mês com nível de turbidez mínima.

Representando graficamente estes dados, tem-se:

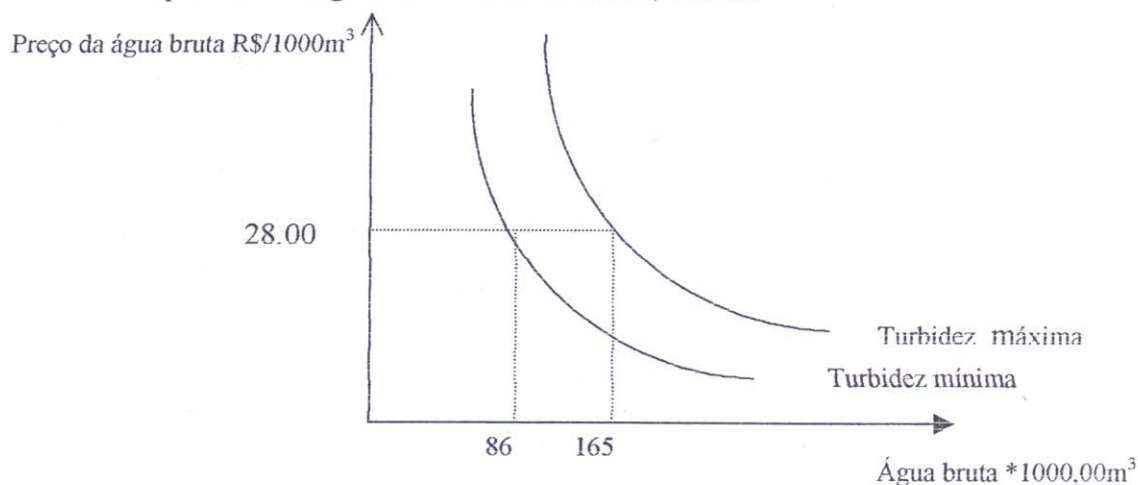


GRAFICO 03- Demandas por água bruta da ETA de Redenção-CE, no período jan/98 a jun/01

Observa-se que a demanda por água bruta pela ETA, quando se tem uma situação de turbidez máxima, é maior do que a demanda por água com um nível de turbidez menor. Deve-se salientar que, durante o período registrado de turbidez máxima e mínima, ocorreu uma ampliação do sistema de distribuição de água em Redenção-CE e a ETA passou a tratar um volume de água maior. A ampliação do sistema e aumento da capacidade da ETA ocorreu no mês de maio de 1999, quando até então a ETA tratava em média 82.586,43m³/mês. A partir dessa providência, passou a tratar 158.038,38m³/mês. Observa-se que a produção de água tratada entre os pontos de turbidez máxima é quase o dobro da produção quando ocorreu a turbidez mínima. Daí a grande diferença entre estas demandas. Outro fato importante é que, quando se tem uma turbidez elevada, a ETA perde bastante água na lavagem dos filtros e portanto demanda maior quantidade de água bruta.

Entretanto, estas estimativas foram feitas com o preço da água bruta pago pela CAGECE, no valor de 28,00 por 1000m³

Para estimar o preço eficiente da água bruta⁸ a partir das demanda estimadas, isola-se o valor de P_1 das equações (21) e (22). Tem-se:

$$P_1^{-0,127} = \frac{X_1}{0,97P_2^{0,11}P_3^{0,017}Y_i} \Rightarrow P_1(\text{turbidez máxima}) = \left(\frac{X_1}{0,97P_2^{0,11}P_3^{0,017}Y_i} \right)^{-1/0,127} \quad (25)$$

$$P_1^{-0,14} = \frac{X_1}{0,99P_2^{0,13}P_3^{0,017}Y_i} \Rightarrow P_1(\text{turbidez mínima}) = \left(\frac{X_1}{0,99P_2^{0,13}P_3^{0,017}Y_i} \right)^{-1/0,14} \quad (26)$$

Substituindo-se os preços nos respectivos pontos de turbidez máxima e mínima observados no período de jan/98 a jun/01, tem-se:

$$P_1(\text{turbidez máxima}) = \left(\frac{(231.352,00)_1}{0,97(0,227)_2^{0,11}(1,025)_3^{0,017}(192.153)} \right)^{-1/0,127} = 0,05073m^3 = R\$50,73/1000m^3 \quad (27)$$

$$P_1(\text{turbidez mínima}) = \left(\frac{(75.095,00)_1}{(0,99(0,2328)_2^{0,13}(0,729)_3^{0,017}(64.545,00)} \right)^{-1/0,14} = 0,07855m^3 = R\$78,55/1000m^3 \quad (28)$$

O preço eficiente da água bruta a ser cobrado na região para alocar o recurso água deve ser de R\$50,73/1000m³ no mês de turbidez elevada e R\$78,55/1000m³ no mês de turbidez baixa, sendo os demais meses valores inseridos neste intervalo. Portanto, água de boa qualidade com turbidez mínima possui valor superior a água de baixa qualidade com turbidez máxima. Vale salientar que água de péssima qualidade implica custos mais altos para o tratamento.

Assim, este trabalho fornece o valor da água bruta que pode auxiliar na formulação de uma política de tarifação na bacia do Acarape do Meio, permitindo ao Estado o estabelecimento de tarifas que venham a permitir o equilíbrio econômico social e ambiental. Entretanto, precisa ser realizado um estudo detalhado da capacidade de pagamento de cada usuário, cujo resultado possibilitará futuramente a definição de uma tarifa satisfatória para os gastos doméstico, industrial e agrícola e também regular os usos na pesca e no lazer.

⁸ Preço que promove a viabilidade financeira do sistema, paralelamente a sua eficiência econômica e ambiental, além do próprio aspecto da equidade social.

FONTENELE & ARAÚJO (2001) afirmam que o valor da cobrança pelo uso da água bruta está relacionado ao custo da água na bacia hidrográfica. Verificaram que, para a sub-bacia do Banabuiú, no Estado do Ceará, deve ser de R\$ 38,62/1000m³ e para a sub-bacia do Médio Jaguaribe é de R\$ 90,19/1000m³.

LIMA (2002), em estudo realizado no projeto de irrigação da Chapada do Apodi - Ceará, considerando a água bruta para o cultivo na agricultura, concluiu que o preço estimado foi de R\$ 58,34/1000m³. Analisando o aumento da renda do produtor rural em 10%, o preço da água passaria a R\$ 61,31/1000m³.

Estes preços são maiores do que o pago pela CAGECE no momento, que é de R\$28,00/1000m³.

4.3.2 Demanda por energia elétrica

As equações de demanda por energia elétrica derivada são expressas da seguinte forma:

$$X_2 = 0,23 Y P_1^{0,86} P_2^{-0,884} P_3^{0,017} \quad (\text{turbidez máxima}) \quad (29)$$

e

$$X_2 = 0,11 Y P_1^{0,86} P_2^{-0,87} P_3^{0,017} \quad (\text{turbidez mínima}) \quad (30)$$

Observando-se estas equações, verifica-se que o preço da energia elétrica (P_2) guarda relação inversa com a demanda por energia elétrica, ou seja, a variação nos preços desse fator de produção acarreta variação no nível de demanda por energia elétrica em sentido oposto. Pelo menos no período em estudo, a pesquisa indica que a procura por energia elétrica aumenta quando o preço deste insumo (energia elétrica) diminui, portanto é coerente com a teoria econômica.

4.3.3 Demanda por coagulantes

As equações de demanda por coagulantes são as seguintes:

$$X_3 = 0,02 Y P_1^{0,867} P_2^{0,11} P_3^{-0,977} \quad (\text{turbidez máxima}) \quad (31)$$

e

$$X_3 = 0,0096 Y P_1^{0,86} P_2^{0,13} P_3^{-0,99} \quad (\text{turbidez mínima}) \quad (32)$$

Observa-se que, além do preço dos coagulantes (P_3), o preço da água bruta (P_1) e o preço da energia elétrica (P_2) afetam a demanda por coagulantes do setor de tratamento de água em Redenção-CE.

A relação inversa entre o preço do coagulante (P_3) e a quantidade demandada confirma o esperado pela teoria econômica.

4.4 Custo de tratamento de água

A função de custo indireto foi estimada a partir do conhecimento das equações de demanda já apresentadas, considerando também os níveis de turbidez máxima e mínima, e são expressas a seguir:

$$C = 1,22 Y P_1^{0,87} P_2^{0,11} P_3^{0,02} \quad (\text{turbidez máxima}) \quad (33)$$

e

$$C = 1,12 Y P_1^{0,86} P_2^{0,13} P_3^{0,01} \quad (\text{turbidez mínima}) \quad (34)$$

Verifica-se que as equações (33) e (34) acima são de grau 1 nos preços dos fatores de acordo com a teoria econômica.

Portanto, pode-se afirmar que, se ocorrer um aumento de 10% nos preços dos fatores, os custos também aumentam em 10%, o que é normalmente esperado numa função homogênea de grau 1.

Para efeito de análise, substituiu-se os valores: quantidade de água produzida (Y), preços da água bruta (P_1), coagulantes (P_2) e energia elétrica (P_3) nas equações (33) e (34) e tem-se os seguintes resultados:

$$C = 1,22(192.153,00)(0,028)_1^{0,87} (0,2275)_2^{0,11} (1,0255)_3^{0,02} = R\$8.882,21 \quad (\text{turbidez máxima}) \quad (35)$$

$$C = 1,12(64.545,11)(0,028)_1^{0,86} (0,2328)_2^{0,13} (0,7291)_3^{0,01} = R\$2.754,05 \quad (\text{turbidez mínima}) \quad (36)$$

Estes dados são mostrados na TABELA 07 para uma comparação com os valores reais fornecidos pela CAGECE.

TABELA 07 - Custos de tratamento de água estimados nos meses estudados para a ETA de Redenção-CE.

Custos Estimados	
Mês	Custos (R\$)
Janeiro/98 (turbidez mínima)	2.754,05
Maior/01 (turbidez máxima)	8.882,21
Custos Observados	
Janeiro/98 (turbidez mínima)	3.355,12
Maior/01 (turbidez máxima)	10.775,22

Fonte: Dados da Pesquisa.

A TABELA 07 mostra a diferença de custos no tratamento de água, considerando o impacto da turbidez da água bruta.

Os custos estimados no mês de turbidez máxima e mínima foram de R\$ 8.882,21 e R\$ 2.754,05, respectivamente. Os valores fornecidos pela CAGECE foram de R\$10.775,22 e R\$ 3.355,12.

Os valores reais são superiores aos estimados, o que decorre de outros custos, que não entraram como variáveis independentes no modelo estimado, tais como, manutenção, despesas com equipamentos e utensílios no laboratório.

Os valores estimados e/ou reais mostram a diferenças entre as situações de turbidez máxima e mínima. Isto decorre da necessidade de aumentar a quantidade de insumos necessários para corrigir a turbidez da água bruta. É importante frisar também a diferença da quantidade de água tratada durante estes meses, que foi de 64.545,11m³ (no mês de turbidez mínima) e 192.153,00m³ (no mês de turbidez máxima).

4.4.1 Relação entre custos observados e a turbidez da água bruta

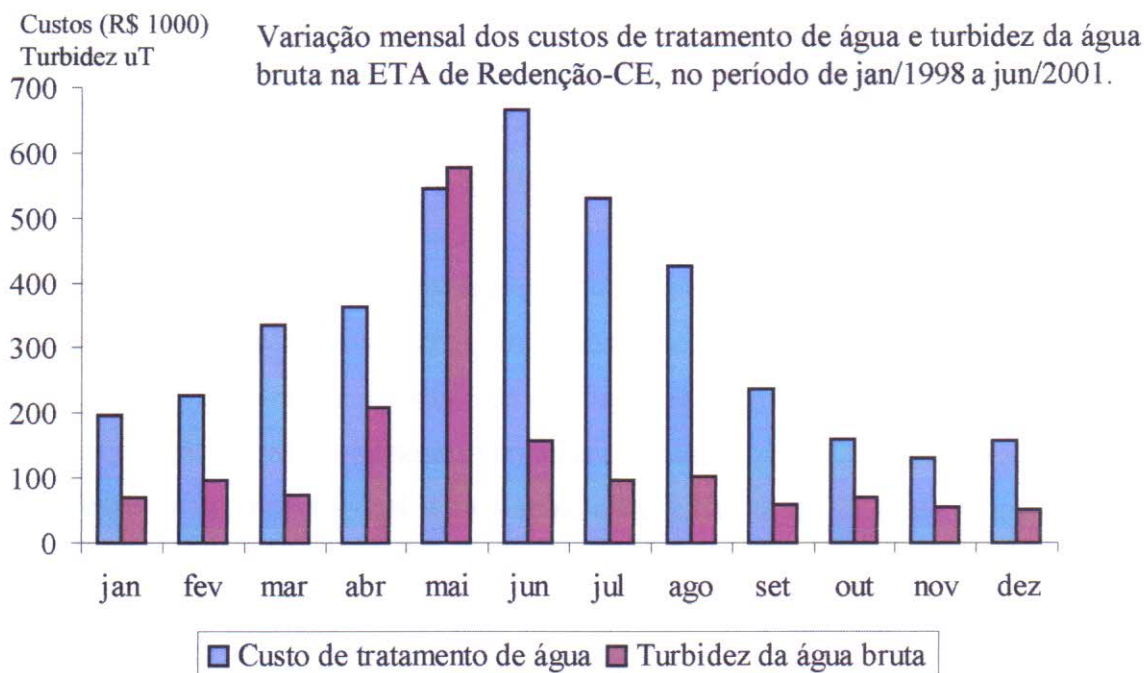


GRÁFICO 04. Variação dos Custos e da Turbidez

O GRÁFICO 04 mostra a variação mensal dos custos de tratamento de água na ETA de Redenção-CE e a turbidez da água bruta. Estes dados correspondem à média dos últimos quatro anos, exceto o ano de 2001, com dados até junho. Os custos de tratamento tendem a ser mais elevados no período em que encontram turbidez elevada, decaindo consideravelmente com a diminuição desta. O período em que ETA possui maiores custos são os meses de maio a junho, fase de turbidez alta e precipitação elevada na região (ver GRÁFICO 02). Entretanto, existem algumas exceções que podem ser verificadas acima no gráfico, por exemplo: o mês de julho apresenta custos altos com turbidez mínima, e talvez isto decorra do fato destes dados não serem somente custos com reagentes químicos para o tratamento. Vários são os motivos que podem levar às exceções, tais como, férias de funcionários, pagamentos de encargos sociais e compra de insumos em grande escala para serem consumidos posteriormente, dentre outros.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões a que se chegou no estudo da produção de água tratada em Redenção-CE, através do ajustamento da função de produção.

A função Ulveling-Fletcher estimada permitiu a inclusão da variável qualitativa (turbidez da água bruta) que influencia em proporção inversa o tratamento de água, ou seja, quanto maior a turbidez, proveniente da erosão do solo na região, tanto menor a quantidade de água tratada na estação, mantidas as outras variáveis constantes, pois a turbidez elevada dificulta o processo de tratamento. Daí a importância do controle do desmatamento e queimadas ou qualquer outro fator que venha a aumentar a erosão em Redenção-CE.

A segunda e mais evidente conclusão ao longo de todo o desenvolvimento do estudo, é que a demanda por água na estação de tratamento é influenciada pela turbidez da água bruta de forma direta, ou seja, quanto maior a turbidez, maior será a quantidade de água requerida pela estação, pois, em períodos de altas turbidezes, perde-se bastante água nas lavagens dos filtros.

As equações de demanda permitiram estimar os preços eficientes da água bruta, considerando as turbidezes máxima e mínima que foram de R\$50,73/1000m³ e R\$78,55/1000m³, respectivamente. Este é um indicador de que água de boa qualidade é mais valorizada, pois a água com turbidez mínima requer uma quantidade menor de produtos químicos para ser tratada, permitindo diminuir os custos de tratamento.

Na estação de tratamento de água em Redenção-CE, os valores estimados dos custos totais de tratamento de água aumentam provavelmente com a turbidez. No mês de turbidez máxima e mínima (uT), são de R\$8.882,21 e R\$2.754,05 reais, respectivamente. Os valores reais fornecidos pela CAGECE nestes pontos são de R\$10.775,22 e R\$3.355,12.

Tais resultados permitem concluir que a turbidez tem impacto negativo sobre o tratamento de água. Assim sendo, claro fica que investimento na região, para combater a erosão do solo, melhoraria a qualidade da água a ser tratada com a conseqüente redução dos custos de tratamento de água.

O modelo empírico estimado entre turbidez e precipitação pluviométrica permitiu concluir que a precipitação modifica a turbidez da água bruta num período de defasagem de dois meses.

Finalmente, deve-se ressaltar as limitações do modelo Ulveling-Fletcher pelas dificuldades da medição precisa de todos os itens que compõem os custos de tratamento de água na estação, tais como: manutenção de equipamentos, encargos sociais etc. Outro viés estimativo também pode ocorrer em razão do uso, neste modelo, dos dados médios mensais de turbidez, não apresentando as oscilações diárias, entretanto foram utilizados porque todas as outras variáveis são mensais.

Espera-se que a metodologia utilizada neste trabalho possa servir de base confiável na formulação de políticas hídricas para o Estado, mesmo considerando as limitações, resultados e conclusões apresentadas.

Sugere-se, ainda, que seja ampliado o estudo do impacto da erosão do solo sobre diversos outros fatores, tais como: biodiversidade aquática, recreação, sedimentação dos reservatórios, para fins de um plano de gerenciamento de controle da erosão, em particular, com as políticas de manejo e conservação da qualidade dos recursos hídricos.

Tais considerações poderão ser úteis na utilização dos resultados aqui apresentados, bem como podem ser vistas como sugestões para outras pesquisas, inclusive ampliando a área de estudo do presente trabalho.

Dados mais sistematizados seriam somente possíveis de obtenção através de futuras investigações que visem à disponibilidade de indicativos e informações para que estudos mais complexos sejam realizados, configurados em pesquisas que dêem seqüência aos resultados do presente estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. C. A água como elemento fundamental da Paisagem em microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p 9-14, nov/dez 2000.

ANTLE, J. M.; AITAM, A. S. Rice technology, farmer rationality, and agricultural policy in Egypt. **American Journal of Agriculture Economics**, Worcester, v.65, n.4, p.667-674, Nov. 1983.

BALL, V. E; CHAMBERS, R. Economic analysis of technology in the meat product industry. **American Journal of Agriculture Economics**, Worcester, v.64, n.4, p.669-709, Nov. 1974.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria N°36, de 19 de janeiro de 1990**. Brasília:1990.

CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará). Boletim Informativo, 8p, jan/2001.

COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos). Secretária dos Recursos Hídricos do Ceará. **Plano Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos das Bacias Metropolitanas**. Fortaleza, 1999. v. 1.

COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos). Secretária dos Recursos Hídricos do Ceará. **Projeto prioritário do Progerirh**, 124p, novembro/2001.

CORDEIRO, W. **Aplicação do Método Geofísico V.LF. (Very Low Frequency) na prospecção de águas subterrâneas em diversos tipos Litológicos fraturados das Bacias Metropolitanas do Estado do Ceará**. 1999.105f. Dissertação (Mestrado em Geologia)- Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,1999.

DANTAS, A. B. **Controle da erosão, melhoramento das propriedades físicas e aumento da produtividade de Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico pela cobertura**

morta com bagaço de cana-de-açúcar triturado. 1995.84f. Dissertação (Mestrado em Solos)-Departamento de Solos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1995.

DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca). **Memórias e Projetos de Açudes**. Fortaleza-CE, 1910.210p.

DILLON, J.; HARDAKER, J.B. **La investigación sobre administración rural para el desarrollo del pequeño agricultor**. FAO, Roma, 1994.84p.

FERNANDES, L. **Processo hidrossedimentológico na bacia do Açude Acarape do Meio, Ceará**. 2000.93p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos)-Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

FERGUSON, C.E.; BARBOSA, A.G.; PESSOA, A. **Microeconomia**, Rio de Janeiro:Forense, 1972.675p.

FIGUEIREDO, M. A. Vegetação In. Atlas do Ceará, Fortaleza:SEPLAN/IPLANCE, 1989. p.57.

FIGUEIREDO, M. A. Uma relíquia de mata atlântica e a devastação ambiental da serra de Baturité, Ceará. In: **CONGRESSO NORDESTINO DE ECOLOGIA**, 4., 1991, Recife. Anais... Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1991.35p.

FONTENELE, E.; ARAÚJO, J.C. Tarifa de água como instrumento de planejamento dos recursos hídricos da bacia do Jaguaribe-CE. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.32, n.2. p.234-251, abr-jun.2001.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). **Relatório mensal de pluviometria**, Fortaleza, 2001. p.8.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). **Banco de dados dos Açudes do Ceará**. Fortaleza, 2002.

- GADELHA, J.V.M. **Impactos socioeconômicos da adoção de tecnologias e conservação do solo na área de proteção ambiental (APA) da serra de Baturité-CE.** 1996.80P. Dissertação (Mestrado em Economia Rural).Departamento de Economia Agrícola,Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1996.
- GOMES, L. Á. M. **Levantamento geológico detalhado de uma área piloto nos municípios de Guarimiranga e Pacotí-Ce para fins pedológicos.** 1993.86f. Dissertação (Mestrado em Solos).Departamento de Solos,Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1993.
- GUILHOTO, J.J.M. Mudanças estruturais e setores chaves na economia brasileira, 1960-1990. In:**INCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMETRIA**, 14. Campos do Jordão, 1992. Anais. Campos do Jordão, SBE, 1992.v.1, p, 293-310.
- HARRIS, B. Regional growth linkazes from agriculture. **The Journal of Development Studies**, 23(2): 275-89, 1987.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Censo Demográfico**, 2000.
- INCLAN, R.;COELHO, F.A. **Diagnóstico sócio-econômico da zona fisiográfica de Baturité:**aspectos fisiográficos, Fortaleza:SUDEC, Departamento de Empresa Oficial,1967 v.1.p.70.
- IPLANCE, Instituto de Planejamento do Ceará.**Anuário estatístico do Ceará.** Fortaleza,2000.
- JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L., A. **Levantamento exploratório de solos do Estado do Ceará**, Recife:SUDENE, 1973.300p.
- KHAN, A.S.; SILVA, L. M. R. Assistência técnica, eficiência na utilização dos fatores de produção e da produtividade diferencial em propriedades rurais no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, São Paulo,v.25, n.2, p-95-113, Abr./Jun. 1997.

KLEIN, J. E. **Introdução a econometria**, São Paulo: Atlas, 1978. 307p.

KMENTA, J. **Elementos de econometria**, São Paulo: Atlas, 1978. 678p.

LIMA, H. R. **Contribuição à análise comparativa dos sistemas públicos de abastecimento de água dos municípios cearenses de Aracati, Crato e Sobral**. 2000. 210f. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil)- Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

LIMA, F. Degradação preocupa maciço. **Jornal o Povo**, Fortaleza, 11 de setembro 2001. Folha Turismo, Caderno 8 p.8A.

LIMA, A.T.M. **Valor econômico da água destinada ao projeto Jaguaribe-Apodi/CE: Uma aplicação do método residual**. 2002. 102p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)- Departamento de Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

LÓPEZ, A.A. **Análise dos custos privados e sociais da erosão do solo. O caso da Bacia do Rio Curumbataí**, 1997. 108f. Tese (Doutorado em Economia) - Departamento de Economia, Universidade de São Paulo, 1997.

MARQUES, J.F. **Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental**. 1995. 257f. Tese (Doutorado em Economia)- Departamento de Economia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MATOS, O.C. **Econometria básica**. São Paulo: Atlas, 1997. 246p.

MENDES, A. C. de. Água: a iminência da escassez. **Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**, Fortaleza, ano 2, n. 7, p.35, 2001.

MOTTA, R. S. da. Análise de custo-benefício do meio ambiente. In: MARGULIS, (Ed). **Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos**, Rio de Janeiro: IPEA, p.77. 1991.

MOURA, A. C. F. **Assistência técnica, produção agrícola e benefícios sociais no Estado do Ceará**, 1999.110f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural)- Departamento de Economia Rural, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,1999.

PETALAS, K.V. **Impactos da urbanização sobre os parâmetros climáticos, em duas áreas de Fortaleza, Ceará**, 2000. 273f. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,2000.

PICCOLO, M. A. M. P.; C. A. TEIXEIRA. E. C. Correlação entre sólidos em suspensão, cor e turbidez para água captada no Rio Jacu-ES. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 20.,1999, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: Rio Centro,1999. p.108-109.

PINHEIRO, J. C. V. **Valor Econômico da Água para irrigação no semi-árido cearense**, 1998.195f. Tese (Doutorado em Ciência)-Departamento de Economia Aplicada/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo,Piracicaba,1998.

RATHOR, M. S. *Contribution of factures to productivity differential between small and large farms.* **Indian Journal of Agricultural Economics**, Worcester, v. 39, n.1, p.70-77, 1984.

RIZZI, N. E. Índices de qualidade de água. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v. 15, p11-20, Jan./Jun. 2001.

RUTH, R.D.;DERPSCH, R.;KROPKE, V.;SIDIRAS, N. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** Paraná: Zusammenarbeit ,1991.272p.

SALES, C. A. T. A. **Contribuição para o modelo de alocação de água no Ceará.** 1999.140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará,1999.

SALES, M.T.B.F. **Caracterização de processos erosivos em áreas florestais e antropizadas na serra de Baturité-CE.**1997.108f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará,1997.

SANTANA, J. Plano desenvolverá potencialidades do maciço de Baturité. **Jornal Diário do Nordeste**, Fortaleza, 14 de novembro de 2001. Folha Regional, Caderno, 2, p.1.

SIDRIM, A.C.G; CARDOSO, C.A.M. **Projeto Mapeamento do Maciço de Baturité.** Convenio SOSP/UFC, 1978.42p.

SILVA, R. P; SILVINO, G. S. **Programa de Monitoramento dos Açudes do Estado da Paraíba.** Belém: Laboratório de Meteorologia Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto, 1994.7p.

SILVA, J. G. **A nova dinâmica da agricultura brasileira**, São Paulo: Unicampo (Ed), 1996. p.105.

ULVELING, E. F.; FLETCHER, L. A Cobb-Douglas production function with variable returns to scale, **Amerian Journal of Agriculture Economics**, Worcester, vol, 52, n. 2, p.322-326, May, 1970.

ANEXO

(Dados da Estação de Tratamento de Água- Redenção-CE)

1. Nome do Município: Redenção - CE

2. Nome do Estado: Ceará

3. Data: 10/01/2010

TABELA 01A: Dados utilizados para estimar a função de produção

Mês	Água Trat.(m3/mês)	Água Bru.(m3/mês)	M.O*	Energia(Kw/mês)	Coa**	Cloro(kg/mês)	Turbidez
jan/98	64545,11	75095,00	2636,22	931	305	476	1,55
fev/98	63025,99	69391,61	10184,12	899	543	391	12,26
mar/98	71360,10	78995,63	12894,86	1060	680	493	3,4
abr/98	63090,10	64982,80	9727,89	916	439	460	4,43
mai/98	80912,00	84310,30	10819,02	1230	316	620	3
jun/98	77934,00	81285,16	7795,41	1247	311	650	3
jul/98	77413,00	80819,17	9117,27	1262	316	651	3
ago/98	86707,00	89828,45	27352,77	1405	306	510	3
set/98	91698,00	94999,13	6996,23	1694	651	580	2,97
out/98	94085,00	97566,15	10700,07	1906	651	620	18,71
nov/98	95464,00	95559,46	8213,00	1735	122	58	15
dez/98	90970,00	94426,86	4386,92	1928	65	620	15
jan/99	92869,00	96305,15	7210,75	1909	651	1020	20
fev/99	82440,00	85407,84	7120,31	1858	567	551	20
mar/99	91279,00	94656,32	10435,82	2595	901	1116	20
abr/99	99401,00	102681,23	7525,21	2541	1630	608	30
mai/99	80776,00	86672,65	8350,60	2482	3253	1044	29,29
jun/99	113624,00	123736,54	7795,41	2470	2490	1080	26,67
jul/99	116828,00	120216,01	7221,71	2579	3260	1488	11,67
ago/99	140338,00	144969,15	9017,91	1837	1860	1384	4,03
set/99	148423,00	152727,27	4011,13	2124	1200	1128	4,3
out/99	127051,00	132641,24	4520,29	2336	1220	1116	4,03
nov/99	114831,00	124821,30	4661,55	2556	1200	1044	3,53
dez/99	117075,00	128548,35	3972,50	2625	1175	1041	3
jan/00	118927,00	131533,26	4735,08	2595	1505	1062	4,17
fev/00	114681,00	127639,95	4767,30	2573	2400	940	4,93
mar/00	152330,00	166496,69	4562,34	3004	3820	1392	3,84
abr/00	191323,00	219638,80	3481,47	3833	6330	1440	44,33
mai/00	185030,00	215930,01	4864,31	3124,04	4320	1488	41,29
jun/00	187050,00	196402,50	5216,57	2672,96	12000	1344	33
jul/00	170844,80	201255,17	5452,11	2808,22	17888	1488	24
ago/00	187824,20	218439,54	5566,11	3145,72	13908	1772	34
set/00	149107,00	176542,69	7088,62	2433,14	4143	1530	16,2
out/00	156008,40	171609,24	4448,07	2810,56	1170	1550	5,2
nov/00	140835,20	156045,40	5234,49	2512,06	1050	1500	3,4
dez/00	186111,00	206024,88	3688,36	3322,56	1085	1550	2,7
jan/01	227343,80	245303,96	5313,45	4209,28	1085	1550	2,11
fev/01	183042,60	197319,92	5296,23	3396,07	1400	1400	1,54
mar/01	188540,00	204188,82	7735,63	3479,06	1750	1450	2,01
abr/01	144440,60	159317,98	4165,37	2611,72	3185	1440	4,5
mai/01	192153,00	231352,21	5215,96	3240,82	9198	1820	157,17
jun/01	197198,00	233285,23	6013,43	2613,29	7028	1530	44,13

* Despesas com mão-de-obra

** Coagulantes (kg/mês)

Fonte: CAGECE(2001)

TABELA 02A: Preços dos insumos em kg e valores de pH e Cor da água bruta

Mês	energia(R\$/kw)	coagulantes(R\$/kg)	Cloro(R\$/kg)	IGP-FGV
jan/98	0,2328	0,7291	0,7979	1,3835
fev/98	0,2308	0,7227	0,7909	1,3714
mar/98	0,2307	0,7226	0,7907	1,3711
abr/98	0,2302	0,7209	0,7889	1,368
mai/98	0,2459	0,7219	0,7900	1,3698
jun/98	0,2453	0,7202	0,7881	1,3666
jul/98	0,2446	0,7182	0,7859	1,3628
ago/98	0,2455	0,7209	0,7889	1,368
set/98	0,2460	0,7221	0,7903	1,3703
out/98	0,2460	0,7223	0,7904	1,3706
nov/98	0,2461	0,7225	0,7907	1,371
dez/98	0,2465	0,7238	0,7921	1,3735
jan/99	0,2441	0,9916	0,7844	1,3602
fev/99	0,2414	0,9803	0,7755	1,3447
mar/99	0,2311	0,9386	0,7425	1,2875
abr/99	0,2757	0,9204	0,7281	1,2625
mai/99	0,2757	0,9201	0,7279	1,2621
jun/99	0,2766	0,9233	0,7304	1,2665
jul/99	0,2738	0,9139	0,7230	1,2537
ago/99	0,2695	0,8996	0,7116	1,234
set/99	0,2657	0,8868	0,7015	1,2164
out/99	0,2618	1,1077	0,6913	1,1988
nov/99	0,2570	1,0871	0,6785	1,1765
dez/99	0,2506	1,0603	0,6618	1,1475
jan/00	0,2532	1,0474	0,8038	1,1336
fev/00	0,2507	1,0368	0,7957	1,1221
mar/00	0,2502	1,0349	0,7942	1,12
abr/00	0,2498	1,0004	0,7928	1,118
mai/00	0,2494	0,9990	0,7917	1,1165
jun/00	0,2478	0,9924	0,7865	1,1091
jul/00	0,2455	0,9833	0,7792	1,0989
ago/00	0,2401	0,9616	0,7620	1,0746
set/00	0,2358	0,9444	0,7484	1,0554
out/00	0,2342	0,9379	0,7433	1,0482
nov/00	0,2333	0,9344	0,7405	1,0443
dez/00	0,2324	0,9308	0,7376	1,0402
jan/01	0,2306	1,0541	0,7321	1,0324
fev/01	0,2295	1,0490	1,2884	1,0274
mar/01	0,2287	1,0454	1,2840	1,0239
abr/01	0,2301	1,0370	1,2737	1,0157
mai/01	0,2275	1,0255	1,3961	1,0044
jun/01	0,2265	1,0210	1,3900	1

Fonte: CAGECE(2001)

TABELA 03A: Dados de Precipitação pluviométrica (mm)

Mês	Pacoti	Redenção	Palmacia
jan/98	245,4	238,2	263,5
fev/98	78,5	91,2	61,3
mar/98	250,4	138,4	157,1
abr/98	139,1	145,6	199,8
mai/98	64,1	29,7	60,6
jun/98	53,2	7,2	22
jul/98	6	29,3	20,3
ago/98	90,6	33,6	32,5
set/98	0	0	5
out/98	29	7,2	10,7
nov/98	0	8,8	8,4
dez/98	47,2	13	30,6
jan/99	104,5	80,4	98,2
fev/99	74,5	168,2	173,5
mar/99	260,5	219,8	320,3
abr/99	224,7	214	247,5
mai/99	217,8	191,6	270,1
jun/99	175,3	70,4	101,5
jul/99	42,1	4	22,3
ago/99	3	0	0,4
set/99	54,3	6,8	19,6
out/99	17,8	0	0
nov/99	16	19,8	14,3
dez/99	63	84,4	55,8
jan/00	227,1	225,2	371
fev/00	285,7	138	182,1
mar/00	329,7	311,8	330,9
abr/00	436,3	465,2	367,2
mai/00	210,8	97,5	187,9
jun/00	196,6	79,8	103,7
jul/00	176	124,5	187,5
ago/00	191,6	87	106,4
set/00	83,2	85,6	39
out/00	3,6	0	0
nov/00	25,5	0	11,4
dez/00	20	12	27,8
jan/01	178,7	127	143,7
fev/01	69,7	77,3	166,1
mar/01	207,8	266,4	283,7
abr/01	475,4	373,6	585,2
mai/01	85,8	79,8	104,2
jun/01	86,7	135	164,5
jul/01	101	14	12,2
ago/01	1,8	0,4	1

Fonte: FUNCEME(2001)