



**SRVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ASPECTOS LIMNOQUÍMICOS DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ (PA): UMA AVALIAÇÃO TEMPORAL
ENTRE 1986 E 2001**

Dissertação apresentada por:
MÁRCIO JOSÉ MOURA DOS SANTOS

Orientador: **JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS**

**BELÉM – PARÁ
2003**

Aos meus pais, que com muita
sabedoria me conduziram a este
momento.

Aos meus irmãos pelo constante
apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sabedoria que me foi dada durante o desenvolvimento deste estudo.

Ao curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, pela oportunidade concedida para a execução deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida durante a execução desta pesquisa.

As Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE), pela oportunidade de estudar o reservatório da UHE Tucuruí, pelo apoio nas atividades de campo, pela utilização de seu laboratório de limnologia-química em Tucuruí e pela utilização de seus resultados.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Francisco da Fonseca Ramos, pelo seu apoio no decorrer dos trabalhos e principalmente pela confiança em mim depositada.

A Prof.a Dra. Lúcia Beckmann de Castro Menezes, pelo incentivo e amizade em todos os momentos de execução do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Rômulo Angélica pela grande colaboração dada à correção do abstract.

Aos Professores, Dr. Waterloo Lima e Dr. Sebastião Átila, pela contribuição dada na correção deste trabalho.

À equipe do laboratório de limnologia-química da ELETRONORTE em Tucuruí, nas pessoas Jeane Mastrodonato, Tacachi Hatanaka, Baía Amaral, Solange Nascimento e Adriana Souza, que não mediram esforços durante a realização dos trabalhos de campo e laboratório.

Aos técnicos do CG/UFPA, Leila Hanna (hidroquímica) e Antônio Aguiar (absorção atômica), que ajudaram na realização dos trabalhos de laboratório.

Às secretárias Gladys Pimentel e Cleidiane Caldeira, pelo pronto atendimento em todos os momentos dos quais necessitei.

A Alcione Batista da Silva por estar presente na minha vida e pelo carinho, amor e amizade concedidos em todo momento.

A Lilianne Maia Lima pelo verdadeiro incentivo ao ingresso no curso de mestrado, além de torcer por mim em qualquer circunstância.

Aos meus colegas do Centro de Geociências, em especial ao Bruno Carneiro, Edgar Lima, Vânia Bahia e Elton Castro pela amizade e colaboração incondicional durante o decorrer das atividades.

Às alunas de iniciação científica Eliana Moura, Lana Nunes e Cláudia Alves pela cooperação na execução deste trabalho.

Agradeço a todos que direta e indiretamente ofereceram qualquer tipo de contribuição para conclusão do presente trabalho.

"O pessimista queixa-se do vento, o
optimista espera que ele mude e o
realista ajusta as velas"
(William George Ward)

SUMÁRIO

	Pg.
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	Vii
RESUMO	01
ABSTRACT	03
1. INTRODUÇÃO	05
1.1. APRESENTAÇÃO	05
1.2. PROBLEMÁTICA NA FORMAÇÃO DAS REPRESAS	10
1.2.1. Aspectos gerais	10
1.2.2. O caso Tucuruí	12
1.3. OBJETIVOS	15
2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO	16
2.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	16
2.2. ASPECTOS AMBIENTAIS DA REGIÃO	18
2.2.1. Geologia regional	18
2.2.2. Solo	20
2.2.3. Clima	21

2.2.4. Hidrografia e Hidrologia	22
2.2.5. Vegetação	25
2.2.6. Fauna	27
2.2.7. Ambiente sócio econômico	28
2.3. O RESERVATÓRIO	31
2.3.1. Morfometria	31
2.3.2. Hidrodinâmica	31
2.3.3. Compartimentação	33
3. METODOLOGIA	35
3.1. TRABALHOS DE CAMPO	35
3.1.1. Periodicidade de amostragem	35
3.1.2. Seleção dos pontos	35
3.1.3. Analítica	36
3.2. TRABALHOS DE LABORATÓRIO	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. ASPECTOS GERAIS	41
4.2. HIDROQUÍMICA DO SISTEMA	41
4.2.1. Parâmetros físicos e físico-químicos	41
4.2.2. Cátions e HCO_3^-	51
4.2.3. Gases dissolvidos	58
4.2.4. Micronutrientes	65
4.2.5. Análise temporal	74

4.3. ESTADO TRÓFICO DO SISTEMA	83
4.3.1. O sistema em 2001	86
4.3.2. Análise temporal	91
4.3.3. Comparação entre os IET's (Pt) do reservatório e rio Tocantins (montante e jusante) nos anos 1996, 1998 e 2000	95
5. CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS	110
ANEXO I : TABELAS COM VALORES DOS PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO- QUÍMICOS E QUÍMICOS ENTRE 1986 E 2001	111
ANEXO II : FIGURAS COM AS VARIAÇÕES DOS PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS E QUÍMICOS ENTRE 1986 E 2001	117

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	pag.
Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo	17
Figura 2 - Bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia (rio Araguaia (1) e rio Tocantins (2))	25
Figura 3 - Mapa das estações de amostragem no reservatório e rio Tocantins à jusante	38
Figura 4 - Comportamento dos parâmetros físicos nas águas superficiais em 2001	46
Figura 5 - Comportamento dos parâmetros físico-químicos nas águas superficiais em 2001	50
Figura 6 - Comportamento dos cátions Ca, Mg, Na e K nas águas superficiais em 2001	56
Figura 7 - Comportamento do HCO_3^- nas águas superficiais, na estiagem de 2001	58
Figura 8 - Comportamento do CO_2 livre nas águas superficiais, na estiagem de 2001	60
Figura 9 - Comportamento do oxigênio dissolvido nas águas de superfície e fundo em 2001	64
Figura 10 - Comportamento dos micronutrientes fósforo total, ferro total, amônia e nitrato nas águas superficiais em 2001	72
Figura 11 - Comportamento dos micronutrientes fósforo total, ferro total, amônia e nitrato nas águas de fundo em 2001	73
Figura 12 - Média dos valores de STS no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais	75
Figura 13 - Média dos valores de pH no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais	77
Figura 14 - Média dos valores de OD no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais	78

Figura 15 - Média dos valores de CO ₂ livre no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais	80
Figura 16 - Média dos valores de amônia no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais	81
Figura 17 - Média dos valores de fósforo total no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais	82
Figura 18 - Comportamento do IET (S) nas estações em 2001	88
Figura 19 - Comportamento do IET (Cla-a) nas estações em 2001	89
Figura 20 - Comportamento do IET (Pt) nas estações em 2001	89
Figura 21 - Variação do estado trófico nas estações M5, C1, M3 e M1 no intervalo de 1986 a 2000	94
Figura 22 - Comportamento dos índices de estado trófico nas estações do rio Tocantins e reservatório em 1996, 1998 e 2000	97
Figura 23 - Variação dos parâmetros STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total na estação M5, durante o período de 1986 a 2001	117
Figura 24 - Variação dos parâmetros STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total na estação M3, durante o período de 1986 a 2001	118
Figura 25 - Variação dos parâmetros STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total na estação MR, durante o período de 1986 a 2001	119
Figura 26 - Variação dos parâmetros STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total na estação C1, durante o período de 1986 a 2001	120
Figura 27 - Variação dos parâmetros STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total na estação M1, durante o período de 1986 a 2001	121
Figura 28 - Variação dos parâmetros STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total na estação JT, durante o período de 1986 a 2001	122

TABELAS	pag.
Tabela 1 - Valores dos parâmetros físicos nas águas superficiais, determinados em 2001	45
Tabela 2 - Valores dos parâmetros físico-químicos nas águas superficiais, determinados em 2001	49
Tabela 3 - Valores de cátions nas águas superficiais, determinados em 2001	55
Tabela 4 - Valores do ânion bicarbonato nas águas superficiais, na estiagem de 2001	58
Tabela 5 - Valores de CO ₂ livre nas águas de superfície e fundo, na estiagem de 2001	60
Tabela 6 - Valores de oxigênio dissolvido nas águas superficiais, determinados em 2001	63
Tabela 7 - Valores de oxigênio dissolvido nas águas de fundo, determinados em 2001	63
Tabela 8 - Valores de micronutrientes nas águas superficiais, determinados em 2001	71
Tabela 9 - Valores de micronutrientes nas águas de fundo, determinados em 2001	71
Tabela 10- Média e desvio padrão de STS, pH, OD, CO ₂ livre, amônia e fósforo total no período chuvoso entre 1986 e 2001	74
Tabela 11- Média e desvio padrão de STS, pH, OD, CO ₂ livre, amônia e fósforo total no período de estiagem entre 1986 e 2001	74
Tabela 12- Valores dos índices calculados para cada variável, com a média entre os mesmos (2001)	87
Tabela 13- Estado trófico nas estações	91
Tabela 14- Índices de estado trófico das estações M5, C1, M3 e M1 no intervalo de 1986 a 2000	93
Tabela 15- Índices de estado trófico para a variável fósforo total nos anos de 1996, 1998 e 2000	96

Tabela 16-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação M5 durante o período de 1986 a 2001, época de chuvas	111
Tabela 17-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação M5 durante o período de 1986 a 2001, época de estiagem	111
Tabela 18-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação M3 durante o período de 1986 a 2001, época de chuvas	112
Tabela 19-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação M3 durante o período de 1986 a 2001, época de chuvas	112
Tabela 20-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação MR durante o período de 1986 a 2001, época de chuvas	113
Tabela 21-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação MR durante o período de 1986 a 2001, época de estiagem	113
Tabela 22-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação C1 durante o período de 1986 a 2001, época de chuvas	114
Tabela 23-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação C1 durante o período de 1986 a 2001, época de estiagem	114
Tabela 24-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação M1 durante o período de 1986 a 2001, época de chuvas	115
Tabela 25-	Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação M1 durante o período de 1986 a 2001, época de estiagem	115

Tabela 26- Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação JT durante o período de 1986 a 2001, época de chuvas	116
Tabela 27- Valores de STS, pH, CO ₂ livre, OD, amônia e fósforo total encontrados na estação JT durante o período de 1986 a 2001, época de estiagem	116

RESUMO

O reservatório da UHE Tucuruí, cuja cota é de 72,00 m, comporta um volume de cerca de 50,8 milhões de metros cúbicos e inunda uma área de 2.850 Km², com um comprimento de cerca de 170 Km ao longo do rio principal, e largura máxima de 40 Km. O tempo de residência médio da água no reservatório é de aproximadamente 50 dias, com um volume de água não renovável de apenas 3 %.

O presente trabalho concerne a hidroquímica dos sistemas rio Tocantins à (montante e jusante da barragem) e reservatório, caracterizando-os durante o ano de 2001, quanto à distribuição horizontal e vertical dos diversos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, além de um estudo de análise temporal abrangendo o período 1986 a 2001, documentando o comportamento dos mesmos, desde o enchimento do lago até os dias de hoje.

O estudo foi feito com base em parâmetros físicos (temperatura, transparência e sólidos totais em suspensão), físico-químicos (pH e condutividade), químicos (oxigênio dissolvido, CO₂ livre, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, ferro total, fósforo total, amônia e nitrato).

Foram feitos ainda estudos dos níveis tróficos dos sistemas durante o ano de 2001. Para tal utilizou-se o Índice de estado trófico de Carlson que, por sua vez, utiliza as variáveis transparência, clorofila-a e fósforo total a fim de classificar o corpo d'água quanto ao seu nível trófico.

Os dados utilizados foram cedidos pela Eletronorte (Centro de Pesquisas Ambientais - CPA), além dos obtidos em campanha própria realizada em novembro de 2001.

Foram definidas estações de amostragens no reservatório, tanto no corpo central (MJV, MP, MR – porções marginais e M3 e M1- antigo leito do rio Tocantins) como no compartimento Caraipé (C1 e C2), e no rio Tocantins, tanto à montante (M5) como à jusante da barragem (JT, NP, IT, MJ e CM), integrando assim o ambiente de estudo.

Os sistemas estudados revelaram condições hidroquímicas diferentes quando consideramos o rio Tocantins (montante e jusante) e o interior do reservatório (corpo

central e compartimento Caraipé). Segundo estudos da própria ELETRONORTE, tal fato têm explicações relacionadas à hidrodinâmica do reservatório; por exemplo, no interior do reservatório as porções marginais têm um tempo de retenção hidráulica 6 vezes maior que a parte mais central do mesmo, fato que influencia também na estratificação química do reservatório.

A estratificação química é um fenômeno presente no interior do reservatório em 2001, pois os valores de oxigênio dissolvido apresentaram um decréscimo quando comparadas as zonas epilimnéticas e hipolimnéticas, CO₂ livre, ferro total, fósforo total, amônia e nitrato apresentaram um comportamento contrário.

O fator sazonalidade aparece no ambiente de estudo apresentando na maioria dos parâmetros analisados uma diferença de valores entre os períodos de chuva e estiagem.

Um fato importante de ressaltar é o potencial considerável do rio Tocantins (à montante) no papel de fornecedor dos micronutrientes, principalmente ferro e fósforo total que posteriormente adentram o reservatório.

A análise temporal das variáveis sólidos totais em suspensão, pH, oxigênio dissolvido, gás carbônico livre, amônia e fósforo total não revelou tendência significativa de aumento ou diminuição. pH e OD apresentaram valores mais constantes em intervalos favoráveis ao corpo d' água e com desvios padrões baixos, enquanto que os restantes apresentaram grandes oscilações no período estudado.

De maneira geral, em 2001 é possível classificar o ambiente de estudo como mesotrófico e oligotrófico nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente. Os estudos revelaram ainda que no interior do reservatório encontram-se níveis tróficos menores do que os encontrados no rio Tocantins (montante e jusante). Considerando apenas o reservatório observa-se que o compartimento Caraipé possui um nível de trofismo maior do que o corpo central.

ABSTRACT

The reservoir of the Tucuruí UHE, whose quota is around 72 m, holds a volume of about 50.8 million cubical meters and floods an area of 2.850 of Km². It has about 170 km length along its major axis (Main River) and maximum 40 km width. The average time of water residence in the reservoir is approximately 50 days, with a volume of only 3 % of non renewable water.

The present work deals with the hydrochemistry of the following water systems: The Tocantins River (up- and downstream the dam) and the reservoir itself. They have been characterized during the year 2001 through horizontal and vertical distribution of the diverse physical, physico-chemical and chemical parameters analyzed, besides time-series evaluation in the period 1986 up to 2001, since the lake formation up to now.

The study was carried after analysis of the following parameters: Temperature, Transparency and Total Suspended Solids – TTS, pH, Conductivity, Dissolved Oxygen, free CO₂, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Fe-total, P-Total, Ammonia and Nitrate.

Studies of the trophic levels of the systems during the year 2001 have also been carried out following the Carlson's Index of trophic state. It is based on three variables: transparency, a-chlorophyl and P-Total, in order to classify the water body in terms of its trophic level.

The data used in this work were gently yielded by Eletronorte Company (Center for Environmental Research - CPA), besides our proper data collected in a field work in November, 2001.

Sampling stations have been established in the reservoir, either in the central body (M1 and M3 – old channel; MJV, MP and MR – outer zone) as in the Caraipé compartment (C1 and C2). In the Tocantins river, samples were collected upstream (M5) and downstream the dam (JT, NP, IT, MJ and cm).

The results have shown that the system, as a whole, exhibit quite different hydrochemical characteristics (the central and outer part of the reservoir and up and downstream parts of the Tocantins river. According to studies conducted by Eletronorte, such difference is due to diverse hydrodynamic conditions of the reservoir. For instance, in the central body, the outer parts (MJV, MP and MR) have a hydraulic retention time

six times greater than the central part (M1 e M3) with influences in the chemical stratification of the reservoir.

The chemical stratification is an actual phenomenon that takes place in the interior of the reservoir in 2001, because DO values exhibited a decrease when compared with the epilimnetics and hipolimnetics zones. On the other hand, free CO₂, Fe-total, P-Total, Ammonia and Nitrate exhibited an opposite behaviour

Another important factor that influences most part of the analyzed parameters is the season where different results were obtained for the rainy and dry seasons.

It is also important to notice the role of the Tocantins river as supplier of micronutrients, mainly iron and P-total that will further get into the reservoir.

Time-series analysis of the variables Total Suspended Solids, pH, Dissolved Oxygen, free CO₂, P-Total and Ammonia did not show significant increasing or decreasing contents. pH and DO have also shown a narrow range of variation while the other parameters exhibited strong variations in the period studied.

Finally, in 2001, it is possible to classify the study area a mesotrophic and oligotrophic in the dry and rainy seasons, respectively. The results have also shown that inside the reservoir, trophic levels are lower than those found in the Tocantins river (up and downstream). Regarding only the reservoir, one finds that the Caraipé compartment has a greater trophic level than the central body.

1 – INTRODUÇÃO

1.1– APRESENTAÇÃO

A crise de energia elétrica em 2001 foi fator decisivo para que houvesse um despertar de ordem governamental no Brasil, iniciando-se assim uma série de discussões em torno do assunto e do fortalecimento da idéia de que o homem, por necessidade própria de desenvolvimento, deve ter cada vez mais a atenção direcionada para as fontes de energia. A crescente produção de energia é ainda uma necessidade que não pode ser contornada. Diferentes países e regiões utilizam diferentes fontes de energia, de acordo com sua vocação. No caso do Brasil, a energia hidrelétrica tem um papel preponderante, haja vista, o grande potencial hidráulico que o país exibe. No quadro nacional, a Amazônia assume a função de grande produtor e de reserva de produção.

No princípio a formação de represas, e grandes açudes tinha objetivos voltados para a reserva de água potável, irrigação, perenização de rios, entre outros. No Brasil há uma quantidade considerável de represas, que se apresentam nas mais variadas dimensões, sendo que, nas últimas décadas, a formação de grandes reservatórios artificiais foi voltada basicamente à geração de energia elétrica.

Na Amazônia brasileira existem 6 (seis) usinas hidrelétricas em operação: Coaracy Nunes (AP), Curuá-Una (PA), Tucuruí (PA), Balbina (AM), Samuel(RO) e Lajeado (TO), cujos reservatórios formados situam-se em diferentes áreas e apresentam características ambientais peculiares.

Dentre os fatores condicionantes do funcionamento dos ecossistemas aquáticos na região Amazônica salientamos a distribuição heterogênea das chuvas que determina uma estação seca e uma estação chuvosa bem definidas, determinando assim, a subida e a descida anual das águas.

A presença de reservatórios na região Amazônica, reconhecida como a maior reserva de florestas tropicais do planeta , tem gerado muita polêmica, pois há questionamento quanto ao planejamento dessas obras, principalmente pelo fato de os reservatórios terem encoberto vastas áreas florestais, desperdiçando muita madeira e

ocasionando possíveis perdas de patrimônio genético, além dos prejuízos a qualidade da água.

De maneira geral, os reservatórios mesmo quando construídos com o objetivo específico de geração de energia, são utilizados para outras finalidades pela população local. Assim, os reservatórios que constituem sistemas aquáticos complexos exigem, na maioria das vezes, um manejo integrado da bacia hidrográfica, ou da área de influência do empreendimento (Tundisi *et al.*, 1993).

A construção de grandes barragens e a conseqüente formação de reservatórios, em geral, provocam sérias alterações no meio ambiente, com efeitos positivos ou negativos. Daí a necessidade de se realizarem estudos prévios das possíveis repercussões ecológicas do barramento de rios, tendo em vista a utilização múltipla das represas e as medidas de conservação da flora e fauna dos respectivos sistemas hidrográficos, além das medidas de proteção do novo ecossistema aquático implantado.

É de grande relevância o estudo ecológico desses ecossistemas após sua construção para prevenir problemas danosos que possam ocorrer, pois com a construção de barragens, dá-se o seccionamento no curso natural dos rios, ocorrendo assim a formação de águas paradas. Estes obstáculos ocasionam as mais importantes transformações nas bacias hidrográficas e ainda sérios impactos no meio físico, biológico e sócio-econômico. Entre os problemas ambientais mais comuns podemos destacar: mudanças na hidrologia, qualidade da água, sedimentologia, vida aquática, aumento na evaporação produzindo mudanças climáticas, deslocamento de populações humanas e o aumento de doenças endêmicas. O sistema aquático formado passa por um período de enorme instabilidade e periódicas transformações, nos reservatórios da região Amazônica esta fase pode durar muitos meses ou anos, em função das condições do lago formado (grande extensão, tempo de residência e quantidade de fitomassa inundada).

É importante ressaltar que as grandes usinas hidrelétricas, assim como todo grande empreendimento criado para atender a necessidade do desenvolvimento, traz uma série de retornos à sociedade. Entre os benefícios oriundos da construção de grandes barragens, Paiva (1983) cita: a produção de energia elétrica, estocagem de água, criação de áreas de recreação, aumento da descarga mínima, controle de

descargas, aumento da produção de fitoplâncton, melhoria do potencial pesqueiro e economia de recursos naturais

O objetivo principal do projeto da UHE de Tucuruí é a de geração de energia. Na primeira etapa, com 12 turbinas instaladas a usina de Tucuruí tem a capacidade de 4.245 MW, porém, já estão em andamento as obras para a implantação de outras 11 unidades geradoras que, juntas, irão ampliar a capacidade de geração da UHE para 8.370 MW.

Nos estudos preliminares desenvolvidos, somente a produção de energia era indicada como o objetivo do reservatório. Algumas referências foram feitas, no entanto, ao aproveitamento do lago como eixo para navegação do rio.

Tucuruí foi a primeira usina hidrelétrica de grande porte construída na Amazônia brasileira. O seu reservatório constitui-se em um dos maiores do Brasil em volume de água e extensão superficial (Evangelista, 1993).

O potencial do rio Tocantins foi estimado em cerca de 25 milhões de KW, dos quais a UHE de Tucuruí, sendo a maior das obras, têm projetado a instalação de 8 milhões de KW (32% do total da bacia). As obras foram iniciadas em novembro de 1975, e a entrada em operação se deu nove anos mais tarde, em novembro de 1984. O reservatório foi formado após o represamento do rio Tocantins próximo à cidade de Tucuruí e seu enchimento iniciou em setembro de 1984 e terminou em março de 1985.

As primeiras estimativas realizadas com base na restituição aerofotogramétrica feita antes do enchimento, no que se refere à área a ser inundada, indicavam uma superfície do lago da ordem de 2.430 Km², com a formação de cerca de 600 ilhas. Levantamentos posteriores, realizados a partir de imagens de satélite do lago já formado, vieram a modificar essas estimativas. À cota de 72,00 m, o reservatório formado comporta um volume de cerca de 50,8 milhões de metros cúbicos e inunda uma área de 2.850 Km², com um comprimento de cerca de 170 Km ao longo do rio principal, e largura máxima de 40 Km. O perímetro externo do reservatório na margem esquerda é da ordem de 1.800 Km e na margem direita de 1.100 Km. Considerando o perímetro das quase 1.800 ilhas formadas, tem-se como perímetro total estimado de margens o montante de 6.400 Km (CMB, 1999).

A profundidade máxima do reservatório atinge 75 m, sendo a profundidade média de 17,3 m. A largura média é de 14,3 Km, chegando até o máximo e 40 Km de distância entre as margens (CMB, 1999).

No início do século XXI, o Brasil assim como diversos países enfrentam o dilema de ter que se desenvolver e simultaneamente preservar o meio ambiente. Tal dilema gerou nos últimos tempos uma crescente preocupação com a conservação dos recursos hídricos, aumentando de forma significativa o acompanhamento ambiental destes, a fim de garantir que suas características naturais sejam conservadas, mediante as ações antrópicas necessárias para gerar tal desenvolvimento.

Vários estudos limnológicos vêm sendo desenvolvidos em reservatórios de diversas bacias hidrográficas do País. No estado de São Paulo, vários estudos de monitoramento têm surgido por conta de Instituições de Pesquisa como UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) e USP (Universidade de São Paulo). Na Amazônia as pesquisas em torno deste assunto ganham destaque na década de 80, onde o INPA (Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia) e a ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil) têm atuado de forma significativa desde a formação dos lagos das principais hidrelétricas construídas. É importante citar ainda a atuação da UFPA (Universidade Federal do Pará) que tem realizado vários trabalhos na UHE Tucuruí, como por exemplo o de Evangelista (1993), e ainda o Instituto Max Plank de Limnologia, que é oriundo da Alemanha, e realizou alguns trabalhos na Amazônia apresentados por Junk et al. (1981).

Quando se fala em água na Amazônia é necessário destacar o livro “The Amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin”, que se constitui de vários estudos realizados nas águas da bacia amazônica, apresentado por Harald Sioli em 1984.

Na maioria das vezes, os programas usuais de monitoramento de qualidade da água compreendem a avaliação de características físicas, químicas e hidrobiológicas, destacando-se a caracterização das comunidades fito-zooplanctônicas, identificação e quantificação de macrófitas aquáticas e estudos de ictiofauna, podendo ainda estes estudos incluir aspectos bacteriológicos.

Na UHE Tucuruí, atualmente os estudos limnológicos estão sob inteira responsabilidade da ELETRONORTE e se desenvolvem na forma de monitoramento de parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos à montante e à jusante da barragem, com o objetivo de acompanhar a qualidade da água.

Este estudo que está inserido no âmbito da Geoquímica Ambiental e visa uma caracterização limnoquímica da água do reservatório da UHE Tucuruí, foi realizado durante o ano de 2001, e as observações referentes ao corpo d' água estudado são fundamentadas nos resultados obtidos durante a pesquisa, quando foram determinados parâmetros físicos, físico-químicos e químicos como temperatura, transparência, pH, oxigênio dissolvido, cátions, ânions e micronutrientes. O estudo salienta ainda os aspectos ambientais da região, como o clima, a biota, os solos e os fatores geológicos-geoquímicos, assim como as características do reservatório como a morfometria e hidrodinâmica, pois esses fatores têm contribuição nas condições do corpo d' água em questão.

A pesquisa foi realizada com o auxílio financeiro do PROINT (Programa Integrado de Apoio ao Ensino), apoio logístico e laboratorial da ELETRONORTE em Tucuruí, além de contar com a infra-estrutura de pesquisa de Centro de Geociências da UFPA, sobretudo do seu laboratório de hidroquímica, onde o restante das análises necessárias foram viabilizadas.

É importante ressaltar que este estudo, no que se refere às variáveis consideradas, é muito semelhante aos executados pela ELETRONORTE, e inclusive utiliza resultados fornecidos por essa empresa, fato de grande importância no enriquecimento deste trabalho, tornando possível a implementação de uma análise temporal dos principais e mais significativos parâmetros utilizados em estudos ecológicos de ecossistemas lacustres.

1.2 – A PROBLEMÁTICA NA FORMAÇÃO DAS REPRESAS

1.2.1 – Aspectos gerais

Os reservatórios hídricos, em geral, causam grandes transformações nas bacias hidrográficas, pois, lagos artificiais, reservatórios de água, são grandes espaços modificados, ecossistemas novos que se impõem em curto intervalo de tempo sobre ecossistemas muitas vezes em equilíbrio ecológico. Ocorrem também profundos impactos no meio físico, biológico e sócio econômico e entre os problemas ambientais mais comuns gerados pela formação de um lago, podemos destacar: a) alterações na qualidade da água com tendência à eutrofização; b) modificações no regime hidrológico; c) mudanças nos padrões de erosão e sedimentação dentro da bacia; d) acomodamento de solos e tremores de terra; e) aumento na evaporação produzindo mudanças climáticas; f) prejuízos para a flora e fauna aquática e terrestre; g) deslocamento de populações humanas; h) de doenças endêmicas, entre muitos outros (Tundisi, 1986).

A rápida proliferação dos reservatórios nas últimas décadas e as grandes dimensões assumidas por esses ecossistemas artificiais têm produzido inúmeras alterações não só na região do empreendimento, mas também nas áreas entorno que sofrem os efeitos causados pela formação do lago artificial.

A região Amazônica foi a última no Brasil a ser alvo de empreendimentos desta natureza. A formação de grandes barragens nesta se dá por conta de sua peculiaridade, suscitando assim inúmeros problemas, cuja resolução demanda rápido e intenso investimento em pesquisa ecológica. O ecossistema resultante constitui uma unidade complexa, se configurando em objeto de estudo de diversas áreas e produzindo assim conhecimentos de grande valor teórico e prático.

A utilização múltipla das grandes massas d' água acumuladas nos reservatórios depende de um manejo adequado que só pode ser assegurado, pelo conhecimento dos mecanismos e processos ocorrentes nas represas que envolvem o meio ambiente interno e externo.

Em conseqüência dos deslocamentos de populações, atraídas pelas oportunidades de trabalho durante a execução das obras de engenharia, existe a

natural tendência de se estabelecer graves situações sanitárias, caso não sejam tomadas sérias medidas de proteção a saúde pública.

Tais deslocamentos de populações atuam de diversas maneiras, com respeito à situação epidemiológica das correspondentes áreas onde se estabelecem, para a construção de barragens, entre as quais podemos citar: a) introdução de doenças desconhecidas ou já erradicadas da região; b) ocorrência de novas linhagens de parasitas e/ou novos vetores; c) exposição de uma população não imune aos agentes patogênicos locais; d) aumento da densidade de população nos focos de transmissão (Paiva, 1983).

As represas favorecem o aumento da incidência ou a prevalência de doenças transmissíveis pela água ou daquelas cujos vetores se desenvolvem no meio aquático.

O estudo comparativo da hidrologia e da patologia médica no Brasil nos indica as doenças mais relacionadas com os cursos d' água, lagoas, lagos e represas, a seguir mencionadas: doenças por vírus transmitidas por artrópodes (arboviroses), malária, leptospirose, equistossomíase mansônica e também a filaríase (Paiva, 1983).

À medida que as grandes represas favorecem a proliferação de mosquitos da família Culicidae e funcionam como núcleos de adensamento das populações de aves e mamíferos selvagens que são reservatórios de arbovírus, elas contribuem decisivamente para o aumento da incidência ou prevalência de algumas arboviroses.

Do ponto de vista limnológico, podemos citar vários problemas causados ao corpo d' água em decorrência da formação de uma barragem, tais como: a) aumento da concentração de matéria orgânica; b) intensificação da cor; c) baixas concentrações de oxigênio; d) altas concentrações de nutrientes; e) crescimento excessivo de vegetação; f) aumento da produção de fitoplâncton e aumento de peixes.

Ao interceptar o fluxo d' água de um rio, além de causar inúmeras modificações num amplo espectro de atividades e processos ao longo da bacia hidrográfica, as represas interferem nos processos de evolução das comunidades de organismos aquáticos como peixes, algas do plâncton (fitoplâncton), animais do plâncton (zooplâncton) e animais do fundo (bentos), bem como na decomposição química do sedimento e da água (Tundisi, 1986).

1.2.2 – O caso Tucuruí

Os estudos dos possíveis impactos, mais especificamente ecológicos, decorrentes da construção da barragem de Tucuruí, foram contratados junto ao INPA já no final da construção da represa e citados no relatório final da Comissão Mundial de Barragens em 1999.

No início da execução da obra em 1980, os esforços realizados por pesquisadores resultaram em um enorme acervo de conhecimento sobre os ecossistemas dos rios Araguaia e Tocantins, uma vez que, foram desenvolvidos trabalhos, não apenas na área do lago propriamente dito, mas também dos rios formadores.

A maior parte dos estudos realizados, deveria ter sido iniciada no mínimo com uma década de antecedência, a fim de que os possíveis impactos ecológicos pudessem ter sido não apenas identificados, mas também que as ações corretivas ou compensatórias fossem planejadas e implementadas.

Os estudos abrangeram os aspectos do meio físico e biótico e do campo sócio-econômico, mas foram desenvolvidos dentro da ótica de viabilização do empreendimento, não contemplando a dimensão dos processos históricos da região.

Segundo a CMB (1999), os principais problemas ecológicos levantados localmente, em certas profundidades e em certos períodos, foram:

- a diminuição da concentração de oxigênio na água da represa em decorrência da decomposição da matéria orgânica não retirada da área a ser inundada;
- desenvolvimento de plantas aquáticas tanto flutuantes como emergentes em algumas regiões do lago; os impactos sobre a ictiofauna em decorrência da mudança do ambiente lótico em lântico;
- as mudanças da ictiofauna a jusante em consequência do rompimento das migrações dos peixes e também da mudança da qualidade da água em decorrência da sedimentação e dos processos bio-geoquímicos na nova dinâmica das águas;
- os impactos sobre a fauna terrestre nas áreas que seriam inundadas;
- os impactos sobre o micro clima regional pela existência de uma grande área coberta por águas;

- os problemas de saúde humana, decorrentes de possíveis proliferações de vetores de doenças; a praga dos mosquitos;
- a presença de mercúrio em elevado teor na água e nos peixes do reservatório;
- risco de permanência de resíduos químicos dos produtos utilizados na tentativa de desmatamento da área a ser inundada.

Para CMB (1999), na área de influência local, verificou-se um grande número de situações associadas diretamente ao advento da barragem, para as quais não se previam medidas de gestão nos estudos realizados para o empreendimento. Dentre estes impactos, podemos citar:

- crescimento acelerado e desordenado da cidade de Tucuruí;
- ocupação desordenada e indiscriminada da área do entorno do reservatório, causada, entre outros fatores, pela implantação, por parte da Eletronorte, de mais de mil quilômetros de estradas vicinais;
- utilização crescente e predatória da madeira nas ilhas e margens do reservatório, facilitada pela própria formação do lago, que possibilitou o acesso, via lacustre, a regiões não acessíveis;
- ausência da delimitação de uma faixa de proteção do reservatório, devido a falta de base cartográfica confiável;
- alteração na estrutura do mercado de terras, com intensa valorização das terras situadas próximas a barragem e aos núcleos construídos pela ELETRONORTE, e contínua desvalorização das propriedades localizadas ao longo dos antigos eixos das estradas relocados;
- relações sócio-econômicas surgidas no espaço valorizado, onde se destaca a urbanização acelerada e não planejada (polarização regional e atração migratória fluxos demográficos);
- a desestruturação da agricultura familiar.

De acordo com a CMB (1999), a ocorrência de impactos à jusante foi subestimada, já que se considerou quase que exclusivamente a ocorrência de impactos diretos associados à redução da quantidade de água durante a fase de enchimento do reservatório.

Pouco antes do enchimento, suscitou-se o problema de impactos à jusante durante o enchimento, tendo sido levantada a hipótese de interrupção do fornecimento de água potável a Belém, em face da introdução da cunha salina no rio Guamá causada pela ausência de vazão do rio Tocantins. Um estudo baseado em modelagem matemática concluiu, à época, que não haveria esse risco em Belém (como de fato não houve), mas que poderiam ocorrer problemas nos municípios à jusante da barragem.

Verificou-se, no entanto, a ocorrência de impactos socio-econômicos indiretos a partir da interrupção da vazão e, principalmente, impactos diretos e indiretos associados à mudança da qualidade da água do rio à jusante.

Dentre os efeitos observados na área de influência de jusante, destacam-se:

- impedimento ao fluxo migratório de algumas espécies de peixes;
- desaparecimento de algumas espécies de peixes com a eliminação das corredeiras que existiam a montante da barragem;
- alteração no teor de sedimento no trecho de jusante, com valores inferiores aos anteriores observados;
- alteração do regime fluvial, podendo(não houve avaliação definitiva) influenciar, desde o ciclo de reprodução dos peixes até a produção de espécies vegetais nativas (açai, por exemplo);
- modificação na composição química da água (modificação no teor de oxigênio e na cor) provocada por força da cadeia alimentar, mudança na composição biótica (fito, zooplâncton e ictiofauna) e acarretando uma série de conseqüências nas atividades produtivas da região;
- modificação no teor do oxigênio, no período da estiagem, provocado pela sensível diminuição da vazão afluente ao reservatório. Nesse caso a importância do volume turbinado total, sem oxigênio, passa a ser cada vez mais preponderante na composição do volume total liberado a jusante, implicando inúmeras conseqüências ambientais e sócio-ambientais;
- desaparecimento de determinadas espécies de peixe, como o mapará, por exemplo, tem sido avaliado como um fator de desorganização da pesca artesanal e de subsistência e do aumento de índice local;

- de morbidade, face à menos ingestão de proteínas por parte da população de mais baixa renda;

1.3 – OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são:

1) estudar a hidroquímica dos sistemas rio Tocantins (montante e jusante do reservatório) e reservatório em 2001, caracterizando-os quanto a limnoquímica e a distribuição horizontal e vertical dos diversos parâmetros analisados; E ainda, comparar este estudo com os de Evangelista (1993) realizados no mesmo ambiente;

2) fazer uma breve análise temporal das variáveis mais importantes, durante o intervalo de tempo entre 1986 e 2001;

3) estudar os níveis de eutrofização registrados no sistema em 2001 e fazer um estudo comparativo entre o estado trófico encontrado no lago e o do rio Tocantins (montante e jusante da barragem).

2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO

2.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Usina Hidrelétrica Tucuruí cuja etapa inicial foi construída e é operada pela Eletronorte e está situada no rio Tocantins, no estado do Pará com coordenadas geográficas de 3° 45' de latitude sul e 49° 41' de longitude oeste (Figura 1).

O centro regional de maior importância é a cidade de Belém, capital do estado. Os principais núcleos urbanos na área de influência do empreendimento são: Marabá, Itupiranga, Novo Repartimento, Nova Jacundá, Novo Breu Branco, Tucuruí, Mocajuba, Baião e Cametá.

As principais vias rodoviárias de acesso a Tucuruí são a rodovia federal BR-316 e as rodovias estaduais PA-332, PA-263 e PA-150. Existe linha de ônibus comercial diariamente entre Belém e Tucuruí, com saída do terminal rodoviário de Belém – Hildegardo da Silva Nunes.

Pelo fato da Usina não dispor de eclusas, a navegação acaba ficando bastante restrita neste trecho do rio Tocantins. Pode-se entretanto, chegar até a cidade de Tucuruí utilizando o rio Tocantins como hidrovia à jusante da barragem, ou navegando através do reservatório até a vila residencial de Tucuruí.

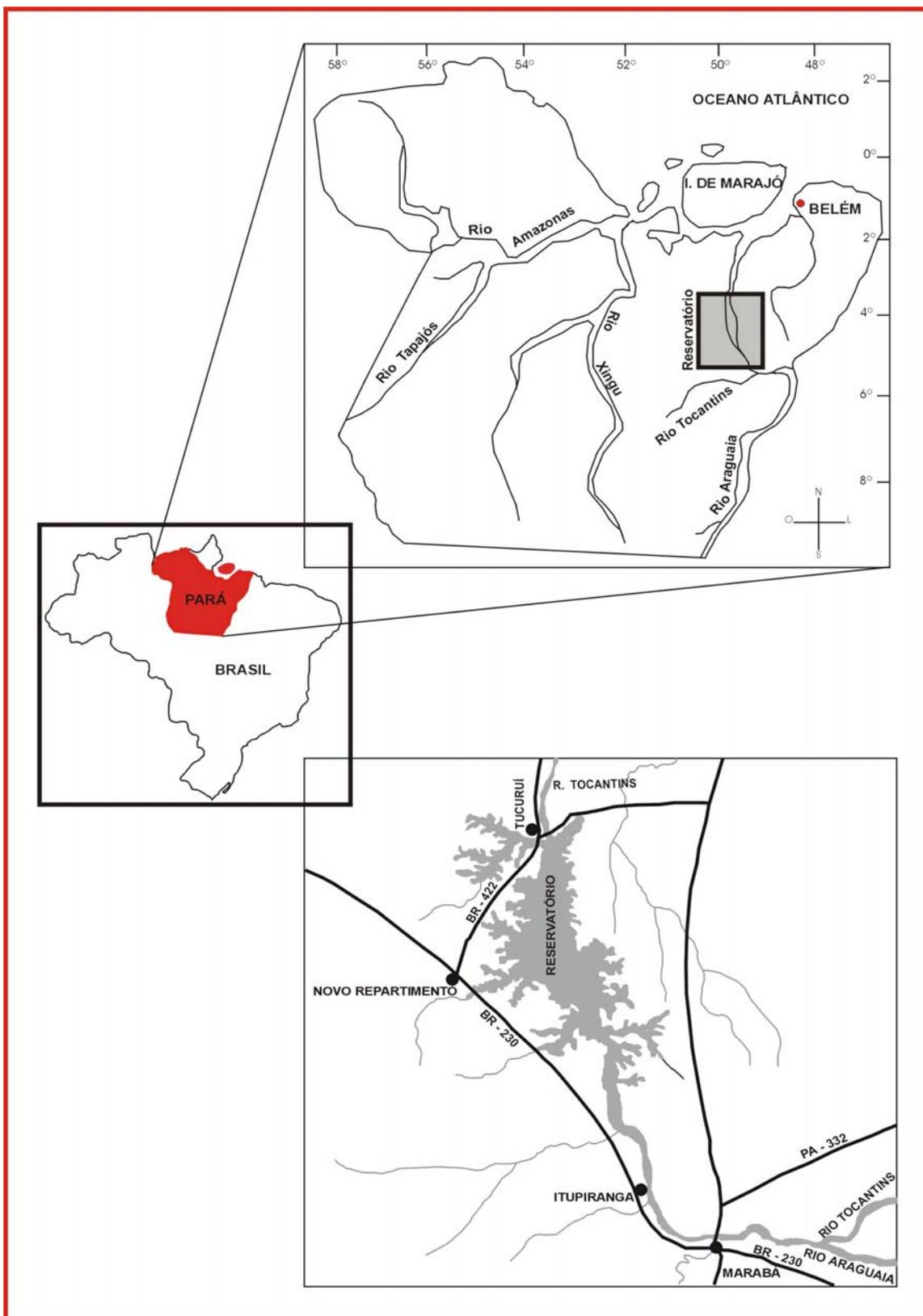


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

2.2 – ASPECTOS AMBIENTAIS DA REGIÃO

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí está localizada no Rio Tocantins, no Estado do Pará, cerca de 7,5 Km a montante da cidade de Tucuruí.

O rio Tocantins tem como seu principal afluente o Araguaia e constitui bacia própria, ora Bacia do Tocantins, ora Bacia do Tocantins-Araguaia. Nascido no planalto central brasileiro, percorre grandes extensões recobertas por cerrados antes de penetrar em áreas de floresta amazônica densa, já no estado do Pará, onde está situada a UHE Tucuruí.

2.2.1 – Geologia regional

A região de Tucuruí faz parte da porção setentrional da faixa Araguaia, próxima à borda oriental do Cráton Amazônico. O rio Tocantins entre as cidades de Tucuruí e Marabá encaixou seu leito na zona de transição entre rochas pré-cambrianas do Cráton Amazônico e rochas pré-cambrianas da faixa Araguaia.

O Cráton, representado na área por rochas granito-gnáissicas do complexo Xingu, constitui o embasamento da região. Essa unidade engloba uma associação litológica de grau metamórfico médio, formada essencialmente por gnaisses, migmatitos, granulitos, anfíbolitos e rochas cataclásticas. Granitóides denominados Novo Repartimento, considerados como intrusivos no complexo Xingu, ocorrem em extensa área na margem esquerda do reservatório e também integram o embasamento da região (Eletronorte & Engevix - Themag, 1988).

Segundo Matta (1982), na área de Tucuruí, sobrepondo-se a esse embasamento encontra-se o Grupo Tucuruí, subdividido nas formações Caraipé e Morrote.

A Formação Caraipé é constituída por uma seqüência de derrames basálticos com intercalações pelíticas e psamíticas subordinadas. A Formação Morrote recobre a Formação Caraipé, sendo composta por sedimentos grauváquicos, constituídos essencialmente por plagioclásio e quartzo.

Para Matta & Hasui (1984), o Grupo Tucuruí representa uma cobertura não dobrada do proterozóico Médio/Superior, individualizada apenas na área de Tucuruí.

A Falha de Empurrão de Tucuruí faz com que o grupo Tocantins, pertencente a Faixa Araguaia e representado na área pela Formação Couto Magalhães, cavalgue os sedimentos da Formação Morrote (Matta, 1982).

A Formação Couto Magalhães consiste de cálcio-xistos, filitos e quartzitos, sendo cortada por corpos máfico-ultramáficos pós-metamórficos (Matta op. Cit).

Matta & Hasui (1984), completam a coluna estratigráfica da região com o Grupo Barreiras (Terciário) e níveis de concreções lateríticas, terraços aluvionares, colúvios e alúvios representando o quaternário.

Trouw et al. (1976), propuseram uma coluna estratigráfica para a área, onde consideram a unidade Tucuruí composta de metagrauvacas e basaltos, repousa discordantemente sobre o complexo Xingu ou, através da falha de Tucuruí, sobre a Formação Tucuruí.

De acordo com Eletronorte & Engevix – Themag (1988), ocorrem na área sedimentos cretácicos das Formações Codó e Itapecuru, pertencentes à Bacia do Maranhão.

Os sedimentos da Formação Codó ocorrem em áreas restritas, normalmente aflorando nos vales dos principais cursos d'água. São arenitos finos e siltitos cinza-esverdeados calcíferos e carbonosos, além de folhelhos betuminosos.

A Formação Itapecuru aflora em extensas áreas contínuas, onde o Grupo Barreiras foi erodida. São arenitos brancos ou avermelhados médios a grosseiros, com faixas conglomeráticas.

Ainda de acordo com esses autores, arenitos e conglomerados terciários do Grupo Barreiras ocorrem amplamente na área, sobrepondo-se discordantemente às várias unidades estratigráficas, e compondo um planalto com cotas em torno de 120 metros.

Com a construção da barragem e formação do reservatório, grandes extensões das formações geológicas da área, principalmente dos depósitos quaternários, foram submersas. A dinâmica atual do rio Tocantins também foi radicalmente alterada. A barragem impede o fluxo da maior parte dos sedimentos transportados pelo rio Tocantins, que ficam retidos no interior do reservatório. Do mesmo modo, a barragem

possibilita um aumento na capacidade de erosão do rio Tocantins (Eletronorte & Engevix – Themag, 1988).

2.2.2 – Solo

Os solos existentes na região da UHE Tucuruí são ácidos e apresentam baixa fertilidade natural. Os principais tipos de solos, que dominam quase totalmente a região onde está inserido o empreendimento, são os Podzólicos Vermelho-Amarelos, sendo estes predominantes, além dos Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Amarelos (CMB, 1999).

Os Podzólicos Vermelho-Amarelos localizam-se, principalmente, na margem esquerda do reservatório, ocupando mais que 60% da área de influência do reservatório; apesar de algumas restrições apresentam condições favoráveis para atividades agrícolas. Segundo Rosatelli et al. (1974), esses solos exibem variações podendo ser cascalhentos, concrecionários plintíficos e plintíficos. Caracterizam-se geralmente pela textura argilosa, acidez elevada e baixa fertilidade.

A baixa fertilidade é indicada, por exemplo, pelas análises desses solos situados em pontos próximos à antiga vila Repartimento na tranzamazônica, no Km 48 da trazamazônica entre Marabá e Itupiranga, e a 39 Km do rio Tocantins na PA-70. Os resultados para os cátions trocáveis foram: Ca^{2+} (0,15 a 2,7 mE/100 g); Mg^{2+} (0,05 a 1,0 mE/g); K^+ (0,04 a 0,2 mE/100 g) e Na^+ (0,01 a 0,02 mE/g). O conteúdo de fósforo assimilável variou de 0,46 a 1,38 mg P_2O_5 /100g e a porcentagem de nitrogênio variou de 0,02 a 0,1%.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos representam cerca de 25% da área e localizam-se, principalmente, na margem direita do reservatório; são pobres em nutrientes, mas podem ser utilizados para fins agrícolas, quando empregadas técnicas de agricultura (CMB, 1999).

Segundo Eletronorte & Engevix – Themag (1988), próximo a barragem, na PA-263, ocorrem areia quartzosas hidromórficas distribuídas em uma pequena área. Esse tipo de solo possui baixa fertilidade.

Próximo a Tucuruí encontram-se um latossolo vermelho-amarelo epieutrófico, com horizontes superficiais de elevada fertilidade.

Subordinadamente podem ainda ser observados na área de Tucuruí, cambissolos, solos litólicos, areias quartzosas e solos glei indiscriminados.

Os solos aluviais estão restritos às pequenas linhas naturais situadas no rio Tocantins, as proximidades de Marabá, Itupiranga e Tucuruí.

2.2.3 – Clima

A grande extensão da bacia do rio Tocantins diretamente relacionada a constância das massas de ar de natureza equatorial continental, quente e úmida, determina uma relativa homogeneidade climatométrica, caracterizada pela repetição das estações, ao longo dos anos, com variações pouco significativas quanto à temperatura, precipitação, umidade atmosférica, insolação, velocidade dos ventos e demais parâmetros climáticos (CMB, 1999).

Ao norte do paralelo 6° S o clima é quente e úmido, com temperaturas médias anuais variando entre 24° e 28° C, sendo que as máximas (38°C) ocorrem nos meses de agosto e setembro, e as mínimas (22°C) em junho. Ao sul desse paralelo as temperaturas médias anuais diminuem lentamente, à proporção que aumenta a latitude. No extremo sul da região, em determinadas áreas, em face da orografia do Planalto Central, verifica-se a ocorrência do clima continental tropical de altitude (CW), com as temperaturas médias situando-se em 22° C (CMB, 1999).

No período chuvoso registram-se temperaturas médias levemente inferiores às observadas no período de estiagem (Fisch et al. , 1990).

Quanto ao regime pluviométrico ocorre um aumento das precipitações no sentido Sul-Norte, desde 1.500 mm até mais de 2.400 mm, sendo este regime típico de floresta tropical úmida.

O período mais chuvoso compreende os meses de fevereiro e março, e o menos chuvoso estende-se de julho a setembro (Fisch et al. , 1990).

Segundo o INPA (1987), a umidade relativa do ar está sempre acima de 80%. Os mais altos valores são registrados na época de maior pluviosidade, quando a umidade relativa do ar pode atingir 97%.

A velocidade dos ventos, na região, varia entre 1 e 2 m/s, que correspondem aos valores característicos observados em regiões tropicais.

Pelo fato de estar próxima ao equador, a região de Tucuruí não apresenta variações significativas nos valores de radiação solar, os quais oscilam entre 160 e 200 w/m², uma transmissividade média da atmosfera de 48%.

Os maiores períodos de insolação correspondem a época de estiagem, enquanto os menores são registrados no período chuvoso, devido a ocorrência de grandes aglomerados de “cumulus” e “cumulus ninbus”, que atuam como interceptores do fluxo de radiação solar (Fisch et al. op. cit.).

O Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), cita algumas prováveis mudanças no clima local causadas pela presença do reservatório de Tucuruí. As principais mudanças são:

- um ligeiro acréscimo na temperatura mínima média, e decréscimo na temperatura máxima média, ambos em cerca de 1°C, portanto, uma redução em 2°C na amplitude térmica média;
- aumento considerável da evaporação no período de estiagem e leve redução nos meses de chuva.

Segundo o INPA (1987), as superfícies do reservatório e da floresta em seu entorno são aquecidas de maneira diferente, logo, regulam a temperatura do ar também de maneira diferente.

Essas diferenças devem afetar a circulação do ar gerando brisas diurnas e noturnas, que trazem como conseqüência uma melhor mistura do ar e a diminuição da amplitude térmica da região.

No reservatório de Tucuruí os fatores determinantes para evaporação estão bem próximos das condições ideais, isto é, radiação solar em grande quantidade, temperaturas elevadas do ar e da água e ventos amenos, que em conjunto, seriam responsáveis pelo aumento na taxa de evaporação.

2.2.4 – Hidrografia e hidrologia

O rio Tocantins, cuja extensão total é de aproximadamente 2.500 Km, forma-se a partir dos rios das Almas e Maranhão, cujas cabeceiras localizam-se no Planalto de Goiás, a mais de 1.000 m de altitude, na região mais central do Brasil. Seus principais tributários, até sua confluência com o Araguaia, são, de montante a jusante, os rios

Bagagem, Tocantinszinho, Paraná, Manoel Alves da Natividade, do Sono, Manoel Alves Grande e Farinha, pela margem direita e Santa Tereza, pela margem esquerda (CMB, 1999).

O rio Araguaia, principal afluente do Tocantins, é considerado como sendo da mesma importância no conjunto geral da bacia, notabiliza-se pelas suas características hidrológicas e pelo seu papel no processo de ocupação do território, tem suas nascentes nos rebordos da Serra do Caiapó na divisa de Goiás com Mato Grosso, Cerca de 850 metros de altitude, com 2.115 Km de extensão, desenvolvendo a maior parte do seu percurso paralelamente ao do Tocantins, encaminhando-se para o norte, com o qual conflui depois de formar a extensa Ilha do Bananal, com 80 Km de largura e 350 Km de comprimento, alagadiça em sua maior parte. A confluência dos dois grandes rios encontra-se a uma altitude de 70,80 metros (CMB, 1999).

A bacia de drenagem do rio Araguaia-Tocantins limita-se ao sul pelo planalto central, a oeste pela serra dos carajás e, ao norte pelo rio Amazonas (Figura 2).

O rio Itacaiúnas nasce próximo a serra dos carajás e desemboca no rio Tocantins a altura da cidade de Marabá.

As pequenas drenagens afluentes diretos do reservatório, tanto pela margem direita como pela margem esquerda, formam a sub-bacia do reservatório que ocupa uma área com cerca de 22.250 Km², excluindo a área do reservatório (Eletronorte & Engevix – Themag, 1988).

Os principais cursos d' água dessa sub-bacia são os rios Caraipé, Pucuruí, Bacuri, Valentin, Cajazeiras e Igarapé Vermelho pela margem esquerda e o rio Jacundá pela margem direita (Eletronorte & Engevix – Themag, 1987).

A bacia do Tocantins-Araguaia possui um regime hidrológico bem definido. Apresenta um período de estiagem com vazões mínimas de agosto a novembro, e um período de águas altas, onde as maiores cheias se verificam entre fevereiro e abril. No rio Tocantins, os valores máximos são observados, anualmente, em fevereiro e março, enquanto que no rio Araguaia em março e abril. Tal fato explica-se pelo amortecimento que sofre a onda de cheia na grande planície da ilha do Bananal, retardando assim o seu pico (CMB, 1999).

A vazão média da bacia é estimada em 10.950 m³/s, sendo a contribuição do rio Araguaia em torno de 5.500 m³/s, a do Itacaiúnas de 450 m³/s e a do Tocantins, antes de sua confluência com o Araguaia, de 5.000 m³/s. No rio Tocantins, a vazão específica média decresce até Porto Nacional (Goiás), aumentando a seguir até sua confluência com o rio Araguaia, em virtude da elevada contribuição dos seus afluentes da margem direita.

É importante destacar a homogeneidade da distribuição das chuvas sobre a bacia e o fato de que aproximadamente 30% da água precipitada se escoia através dos cursos d' água.

As menores vazões médias mensais já registradas em Tucuruí, ocorreram em 1951 e 1955. Em 30/9 e 1/10 de 1971 foi medida uma vazão de 1.088 m³/s em Tucuruí, que seria a menor vazão média diária já registrada neste ponto do Tocantins.

As grandes cheias na bacia, medidas em Tucuruí, ocorreram em 1957 (53.100 m³/s), 1976 (62.400 m³/s), 1978 (47.600 m³/s), 1979 (47.700 m³/s), 1980 (68.400 m³/s) (Eletronorte & Engevix – Themag op. cit.).

O rio Araguaia no seu aspecto físico apresenta águas claras e transparentes. o rio Tocantins por sua vez, apresenta águas claras no período seco e águas brancas no período chuvoso devido as altas cargas de detritos em suspensão (Santos, 1986).



Figura 2 – Bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia (rio Araguaia (1) e rio Tocantins (2)).

Fonte: <http://www.ana.gov.br>

2.2.5 – Vegetação

A vegetação dominante da bacia em estudo na sua maior extensão é o cerrado, desde o limite sul da região até o Itaguatins (Goiás), no rio Tocantins e imediações de Conceição do Araguaia (Pará).

As variações locais da vegetação, quanto ao seu adensamento, porte e mesmo composição, são algumas vezes devidas a mudanças climáticas locais (microclimas); no entanto, na maior parte dos casos relaciona-se com diferenças pedológicas no ambiente do cerrado, onde são freqüentes as ocorrências de manchas de solos mais férteis originários de rochas básicas calcárias ou sedimentos calcíferos (CMB, 1999).

O reservatório da Usina Hidrelétrica Tucuruí encobriu grandes áreas das formações florestais originais estabelecidas na região de Tucuruí. Além disso, em consequência da ocupação humana acentuada e desordenada, vastas áreas florestais na região vêm sendo intensamente exploradas, entretanto, ainda existem áreas consideráveis com remanescentes da cobertura vegetal original.

A vegetação na região de Tucuruí é representada principalmente por florestas ombrófilas com variações em suas estruturas e composições florísticas, decorrentes do relevo e solos da região (Eletronorte & Engevix–Themag, 1988).

Essas florestas ombrófilas podem ser divididas em duas grandes categorias: as florestas de terra-firme e as florestas aluviais.

As florestas de terra-firme são encontradas nas áreas elevadas onde dificilmente há inundações, ocorrendo com duas fisionomias distintas: a floresta densa e a floresta aberta.

A floresta densa apresenta um dossel irregular com numerosos indivíduos de grande porte (cerca de 40 metros). Entre as espécies arbóreas presentes destacam-se breus (**Protium** spp), casca-seca (**Chrysobalanaceae**), acapu (**Vouacapoua americana**), ingás (**Ingá** ssp) e mata-matás (**Eschweilera** spp).

A floresta aberta tem menor densidade de indivíduos de grande porte e maior espaçamento entre eles. Uma outra característica marcante é a presença de palmeiras. As espécies mais comuns na formação são a castanheira (**Bertholletia excelsa**), andiroba (**Carapa guianensis**), louros (**Lauraceae**), casca-seca, breus, ingás, enviras (**Anonaceae**), angelins (**Leguminosae**) e mutumba (**Guazuma ulmifolia**). Entre as palmeiras destacam-se o babaçu (**Orbignya** sp), o inajá (**Maximiliana martiana**) e a bacaba (**Oenocarpus bacaba**). Esse tipo de floresta ocupa grandes áreas na margem direita do reservatório, sendo também observada na margem esquerda.

As florestas aluviais ocorrem nas margens dos rios, em solos periodicamente inundados (várzeas). Apresentam uma composição florística muito distinta da observada nas florestas de terra-firme, com número de espécies e um dossel mais baixo e mais uniforme.

Nas margens das grandes lagoas da região a vegetação tem características de igapós. Algumas podem estar circundadas por arapari (**Macrolabium acaciifolium**) e cobertas por gramíneas.

No interior do reservatório ocorrem bancos de macrófitas aquáticas, prevalecendo a espécie **Salvinia** sp, e ocorrendo em menor quantidade **Scirpus** sp e **Eichhornia** sp (Eletronorte & Engevix–Themag, 1988).

2.2.6 – Fauna

A fauna na região do baixo Tocantins é considerada uma das mais ricas e diversificada do mundo. Antes do enchimento do reservatório foi realizado um levantamento das espécies existentes na área e, quando da formação do lago foi realizado um resgate dos animais presentes na área de alagação. A partir desses estudos estimou-se para a região de Tucuruí uma riqueza de 117 espécies de mamíferos, 294 de aves, 120 de répteis e anfíbios (CMB, 1999).

Na região encontram-se diversas espécies endêmicas, raras ou ameaçadas de extinção, entre as quais destacam-se a ararajuba e o cixíu. Além disso, ocorrem espécies de valor sinérgico, como caititus e queixadas, veados, jacarés, mutuns e inhambus.

A fauna ornitológica da região mostrou-se muito variada, incluindo várias espécies ameaçadas de extinção, como gaviões, jaburus e etc. As aves mais afetadas pela formação do reservatório devem ser os inhambus, mutuns e arus, e as mais beneficiadas, principalmente devido a presença de macrófitas aquáticas, o pato-domato, garças, maguari, mergulhão, soco-i, entre outras.

Formando a fauna herpetológica foram identificadas na região, 8 espécies dos quelônios (jabuti, tartaruga, tracajá), 4 espécies dos Crocodylia (jacarés), além de ofídios em número significativo de espécies não quantificadas.

Em decorrência de outras experiências o INPA (1984) supôs ainda a existência, antes do enchimento do reservatório, de muitas espécies de animais não descritas.

Com o início do enchimento em setembro de 1984, a fauna estabelecida na área foi amplamente afetada. Os indivíduos pertencentes ao local refugiaram-se nas ilhas formadas, alguns foram resgatados e remanejados para áreas de soltura criada pela Eletronorte, como a ilha do germoplasma, outra grande parte pereceu.

A formação do lago de Tucuruí ocasionou importantes transformações na ictiofauna do rio Tocantins; de modo geral, ocorreu uma diminuição na abundância e diversidade de espécies da foz em direção ao curso superior dos rios, relacionada a ausência de planícies de inundação e às variações de vazão do médio e alto Tocantins.

Segundo Eletronorte & Engevix–Themag (1988), antes da formação do lago havia até 217 espécies ícticas na área. Com a formação do reservatório e no decorrer

dos anos, o número de espécies diminuiu de forma significativa. Estudos identificaram cerca de 150 espécies ícticas no interior do reservatório. Entre as principais espécies destacam-se curimatá (**Prochilodus nigricans**), pescada (**Plagioscion squamosissimus**), tucunaré (**Cichia ocellaris**), jaraqui (**Semaprochilodus brama**), e a branquinha comum (**Curimata amazônica**) e branquinha-balão (**Curimata cyprinoides**).

No reservatório as principais modificações nas comunidades estiveram relacionadas ao aumento na população de peixes carnívoros (pescada branca, peixe-cachorro, tucunaré e piranha), devido a maior oferta alimentar (camarão e peixes menores), aumento da população de peixes planctófagos (mapará) e estabelecimento de peixes iliófagos (Curimatã e jaraqui) no trecho superior da represa. A Jusante ocorreu uma alteração nas comunidades, sem reduzir a diversidade de espécies: os predadores dominaram o trecho mais próximo ao barramento e as espécies comerciais tiveram sua abundância reduzida.

Sendo esta uma das áreas na Amazônia que apresenta um dos processos de ocupação mais intenso, a destruição de habitats naturais decorrentes desta ocupação, associado à caça predatória, vem levando a diminuição na abundância dessas espécies.

2.2.7 – Ambiente sócio econômico

Segundo Oliveira (1983), até o início do século XX, a principal atividade econômica na região de Tucuruí era o extrativismo, onde destacavam-se as drogas do sertão, castanha-do-Pará, borracha, ouro e diamante. O sistema de vida era tipicamente ribeirinho, sendo o rio além de fonte de alimento natural, o principal meio de transporte e de integração regional.

A ocupação humana tomou impulso na segunda metade do século XX, em consequência de uma melhor conexão inter-regional, através de rodovias, surgindo assim inúmeros centros populacionais.

Com a abertura da Belém-Brasília na década de 60 e implantação na década seguinte de grandes projetos como a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Carajás e ainda as

indústrias siderúrgicas e eletrometalúrgicas na região de Marabá, iniciou-se um processo de acelerada ocupação (Silva, 1988; Loureiro, 1990).

Segundo Valverde (1988), ao mesmo tempo foram implantados na região, projetos agropecuários e agroindustriais, incentivados pela SUDAM.

No caso específico da área de Tucuruí, a construção da usina hidrelétrica, no período compreendido entre 1975 e 1984, provocou profundas transformações sociais, econômicas e ecológicas nas “regiões” do sudeste paraense e baixo Tocantins – áreas a montante e a jusante, respectivamente da hidrelétrica.

A formação do reservatório submergiu, em 1984-1985, uma área das margens do rio Tocantins de, aproximadamente 2.830 Km², das quais cerca de 90% eram ambientes de várzea alta e terra firme, tradicionalmente, explorados por diferentes grupos sociais locais (CMB, 1999).

O empreendimento deslocou compulsoriamente milhares de famílias. Algumas vilas ou povoados foram atingidos parcial ou totalmente. A sede do município de Jacundá foi totalmente inundada; dos municípios de Tucuruí, Jacundá e Itupiranga parte de seus territórios; e Rondon do Pará, uma pequena área. Parte de duas reservas indígenas (Parakanã e Pucuruí), e 170 Km de rodovia federal (CMB, 1999).

O empreendimento ocupou ainda, com suas obras 60 a 70% do território indígena dos gaviões da montanha, que tiveram que abandonar sua reserva e se deslocar para a reserva Mãe Maria, que também foi interceptada por uma Linha de Transmissão de 19 Km de extensão e 150 metros de largura.

Os problemas sociais gerados foram subestimados ou mesmo desconsiderados pela ELETRONORTE na época. Foram necessários mobilização e muita luta da população afetada para conseguir pelo menos parte de suas reivindicações.

O processo de transferência de famílias que, compulsoriamente, tiveram que deixar seus locais de moradia e trabalho, foi permeado por implicações que se configuravam em situações de conflito latentes dado que, além de, nem sempre contar com o aval dos grupos sociais envolvidos, muitos deixaram de ser incorporados a novos espaços geográficos, econômicos e sociais (CMB, 1999).

O processo indenizatório foi bastante problemático à medida que a Eletronorte se pautou em critérios de eficiência administrativa e financeira cujas bases de sustentação

foram os procedimentos jurídicos e a noção de tempo condicionada ao prazo de construção da Usina. Os critérios de avaliação dos bens, para efeito de indenização, levaram em consideração unicamente os aspectos materiais, abstraindo a valoração do trabalho investido no trato com a terra os valores afetivos e simbólicos, ou seja, a lógica cultural, as condições culturais e históricas das populações locais.

Cerca de 5.000 famílias e algumas centenas de indígenas sofreram o impacto direto da formação do reservatório (Eletronorte & Engevix–Themag, 1988).

Segundo Magalhães (1986/1987), aproximadamente 4.300 famílias sofreram o processo de desapropriação, das quais 1.000, foram remanejadas para área urbana e 1.800 para áreas rurais. Restaram, portanto, em torno de 1.500 famílias desabrigadas.

De acordo com Eletronorte & Engevix–Themag (1988), foram feitos loteamentos para receber os expropriados rurais, entretanto, em geral estes lotes foram demarcados em solos inférteis, em locais de difícil acesso, longe de cursos de água, de escolas, posto médico, ou seja, em locais com insuficiência de infra-estrutura.

Para receber os expropriados urbanos foram construídas as vilas de Novo Breu Branco, Novo Repartimento e Nova Jacundá. Porém, em virtude do constante fluxo de migrantes, formaram-se nas periferias dos núcleos, áreas de ocupação coletiva, sem nenhum tipo de serviço de infra-estrutura urbana.

Próximo a Usina encontra-se a Vila residencial da ELETRONORTE, com todos os serviços disponíveis, e com uma qualidade de vida que contrasta com aquela das populações que foram remanejadas.

Outro problema produzido pelo empreendimento é a aceleração da exploração dos recursos florestais. A construção de uma rede de estradas vicinais, ligando as rodovias às glebas rurais, além do próprio reservatório, colocaram áreas florestais, antes inacessíveis, ao alcance dos madeireiros.

O estoque natural de madeira de valor comercial na floresta devido a problemas técnicos, infra-estruturais e organizacionais resultantes do enorme tamanho da área não foi resolvido e aproveitado de uma maneira adequada. Até hoje o aproveitamento destes recursos madeireiros ainda se constitui num grande desafio técnico e econômico, na região.

2.3 – O RESERVATÓRIO

2.3.1 – Morfometria

As primeiras estimativas realizadas com base na restituição aerofotogramétrica feita antes do enchimento, no que se refere à área a ser inundada, indicavam uma superfície do lago da ordem de 2.430 Km², com a formação de cerca de 600 ilhas. Levantamentos posteriores, realizados a partir de imagens de satélite do lago já formado, vieram a modificar essas estimativas. À cota de 72,00 m, o reservatório formado comporta um volume de cerca de 50,8 bilhões de metros cúbicos e inunda uma área de 2.850 Km², com um comprimento de cerca de 170 Km ao longo do rio principal e largura máxima de 40 Km. O perímetro externo do reservatório na margem esquerda é da ordem de 1.800 Km e na margem direita de 1.100 Km. Considerando o perímetro das quase 1.800 ilhas formadas, tem-se como perímetro total estimado de margens o montante de 6.400 Km (CMB, 1999).

A profundidade máxima do reservatório atinge 75 m, sendo a profundidade média de 17,3 m. A largura média é de 14,3 Km, chegando até o máximo de 40 Km de distância entre as margens.

O nível mínimo de operação é de 58,00 m, o máximo normal de 72,00 e o máximo maximum de 75,30 m, referidos ao nível do mar. A jusante, o nível do mínimo normal é de 4,00 m, o máximo normal de 6,80 m e o máximo maximum de 24,50.

2.3.2 – Hidrodinâmica

O regime hidrológico do reservatório depende essencialmente do regime da bacia Tocantins-Araguaia, pois Segundo Eletronorte & Engevix-Themag (1988), mais de 95% da vazão afluente total do reservatório é proveniente do rio Tocantins.

A vazão defluente do reservatório depende das regras operacionais da usina, que tem objetivo de produzir o máximo de energia mantendo o reservatório na cota mais elevada. Estas regras de operação, entretanto, levam em consideração também a manutenção de uma vazão defluente mínima a jusante, necessária para evitar danos a população ribeirinha, garantir a navegação, preservar os taludes, além de manter condições favoráveis de escoamento no vertedouro e nos canais de fuga das turbinas.

No período de estiagem a maior parte da vazão defluente é constituída de águas turbinadas captadas em profundidades, por outro lado, no período chuvoso um grande volume de água passa pelo vertedouro, e as vazões defluentes têm sido praticamente iguais as vazões afluentes (Evangelista, 1993).

A circulação hídrica no interior do reservatório de Tucuruí apresenta-se em alguns momentos de forma complexa, com variações na direção e velocidade do fluxo (Eletronorte & Engevix-Themag, *op. cit.*). Essa circulação é controlada principalmente pela vazão afluente, ação dos ventos, por fatores morfométricos como: profundidade; largura; comprimento e configuração das margens e do fundo do reservatório, decorrentes da topografia dos terrenos inundados, e ainda, por restrições físicas ao fluxo da água, como ilhas, troncos e galharias da vegetação afogada (paliteiro).

De acordo com Eletronorte & Engevix-Themag, (*op. cit.*) com base na circulação hídrica o reservatório é dividido em corpo central e porção lateral.

O corpo central corresponde a antiga calha do rio Tocantins, onde a água circula normalmente em direção à barragem sem nenhum impedimento. Essa porção tem um volume de aproximadamente 17,9 bilhões de m³ de água, na cota 72,00 metros.

A porção lateral, corresponde aos 31 bilhões de m³ restantes engloba todos os braços do reservatório situados nas margens, onde as presenças de ilhas, troncos e galharias, dificultam a circulação da água.

Em função das diferenças nas resistências ao escoamento entre esses dois ambientes, 75% da vazão afluente percorre o corpo central do reservatório e os 25% restantes circulam na porção lateral.

Tais variações espaciais e sazonais na circulação hídrica, refletem no tempo de residência da água no reservatório, que corresponde ao tempo necessário para renovação total de um volume de água considerado. No corpo central o tempo de residência médio da água é de 25 dias. Na porção lateral sobe para 130 dias.

O tempo de residência médio da água no reservatório de Tucuruí, considerando o seu volume total e uma vazão média anual de 11000 m³/s, é de 51 dias, ou seja a cada 51 dias, em média, todo volume represado é teoricamente renovado. Quando a vazão afluente é inferior a 11000 m³/s (vazão média anual) o fluxo de água não é suficiente para produzir um mistura total da coluna d' água no corpo central.

2.3.3 – Compartimentação

Eletronorte & Engevix-Themag (1988), baseados em consideráveis volumes de dados limnológicos, subdividiram o reservatório de Tucuruí em vários compartimentos limnológicos com características distintas.

No corpo central foram individualizados três compartimentos (I, II e III), e na porção lateral outros dois (IV e V).

a – Corpo central

O compartimento I, é o trecho do corpo central mais a montante da barragem, caracterizado como um sistema lótico e com ausência de estratificação o ano inteiro. Não apresenta condições anóxicas na coluna d' água e contém elevada concentração de sólidos totais em suspensão (STS), conseqüentemente, baixa transparência. No período chuvoso quando ocorre o aumento dos níveis de STS, há uma diminuição da zona eufótica. A comunidade fito-zooplanctônica é representada principalmente bacillariophyceae e rotíferos, respectivamente.

O compartimento II, compreende o trecho intermediário do corpo central. Apresenta características de um sistema de transição entre o lótico e o lêntico, com circulação vertical e oxigenação de toda coluna d' água no período chuvoso e estratificação com camada anóxica ($OD < 1$ mg/l), a partir dos 35 metros de profundidade, no período de maio a novembro. A comunidade fito-zooplanctônica é representada principalmente de bacillariophyceae e rotíferos, respectivamente.

O compartimento III, situa-se no trecho próximo à barragem. Apresenta comportamento de sistema lêntico, com a presença de estratificação de maio a janeiro e anoxia a partir de 20 metros de profundidade que deixa de existir nos meses chuvosos. Tanto neste compartimento como no II, a circulação vertical na coluna d' água depende principalmente do regime hidrológico do rio Tocantins. Não há dominância na comunidade fito-zooplanctônica. Ocorrem quatro classes de algas; Chlorophyceae, bacillariophyceae, Dinophyceae e Cyanophyceae, e três grupos de zooplâncton; Copépodes, Rotíferos e Cladóceros.

b – Porção lateral

O compartimento IV é conhecido como compartimento Caraipé. Apresenta-se permanentemente estratificado com o hipolímnio anóxico a partir de 15 metros de profundidade. Na comunidade planctônica predominam Chlorophyceae, Cyanophyceae e Copépodes.

O compartimento V, também se caracteriza por apresentar caracterização permanente, com a presença de condições anóxicas a partir dos 15 metros de profundidade. Apresenta grandes áreas cobertas por bancos de macrófitas aquáticas. Essas macrófitas, juntamente com o perifiton, são responsáveis por quase toda a produtividade desse sistema. A comunidade planctônica é representada principalmente por Chlorophyceae e Copépodos.

À jusante da barragem, as características limnológicas do rio Tocantins dependem do regime hidrológico do rio Tocantins, das condições limnológicas do reservatório, das características geométricas do projeto da tomada de água e das regras operativas da usina (Eletronorte & Engevix-Themag, 1988).

Durante os meses de chuva, quando o corpo central do reservatório desestratifica e a maior parte da água defluente escoia pelo vertedouro da barragem, ocorre uma supersaturação de oxigênio na água lançada à jusante, assim como uma grande homogeneização deste sistema.

No período de estiagem, quando a maior parte da água defluente é a turbinada (escoia pelo canal de fuga das turbinas), ocorre intensa redução dos níveis de oxigênio dissolvido.

3 – METODOLOGIA

3.1 - TRABALHOS DE CAMPO

3.1.1 - Periodicidade de amostragem

A amostragem foi feita no final do período anual de estiagem na região (julho–novembro), ocorreu em novembro de 2001.

Não foi possível realizar a campanha referente ao período chuvoso (de águas altas), porém sem prejuízo ao estudo, pois para suprir a falta destes dados, usou-se os resultados das análises da água obtidos e cedidos gentilmente pelo Centro de Pesquisa Ambiental (CPA) da ELETRONORTE em Tucuruí.

3.1.2 - Seleção dos pontos

A campanha realizada em novembro de 2001 serviu também como uma etapa de reconhecimento do reservatório e para verificação “In loco” da melhor distribuição das estações de coleta de água, a fim de garantir uma investigação que possa retratar ao máximo a situação limnoquímica que o lago se encontra.

Neste trabalho foram definidas estações de amostragem no rio Tocantins (montante e jusante) e no interior do reservatório (corpo central do reservatório e compartimento Caraipé) (Figura 3).

A estação M5 situa-se na montante da barragem, entrada do reservatório via rio Tocantins próximo ao Município de Itupiranga.

As estações MP, MJV, MR, M3, MBB e M1 situam-se no corpo central do reservatório.

As estações C1 e C2 ficam localizadas no compartimento Caraipé.

As estações JT, NP, IT, MJ e CM situam-se no rio Tocantins à jusante da barragem.

Essas estações foram definidas levando em consideração os prazos para determinação, visto que algumas análises devem ser feitas dentro de poucas horas após a coleta. A estação M5, localizada no Município de Itupiranga foi a estações mais

distante do Laboratório do CPA, porém foram feitos os procedimentos adequados para que a amostra fosse conservada até ser analisada.

Para estudar a distribuição vertical dos parâmetros estudados, fez-se em algumas estações, além da coleta de água superficial, a amostragem da coluna d' água, coletando-se amostra de 10 em 10 metros de profundidade. Procurou-se coletar amostras de água do fundo sempre a 1 metro acima dos sedimentos.

Em algumas estações, devido a pouca profundidade amostrou-se quase sempre apenas a água superficial.

3.1.3 - Analítica

No campo foram determinados o pH (com pH meter), temperatura (com termômetro de mercúrio), transparência (disco de Secchi) e condutividade elétrica (com condutivímetro).

As amostras de água superficial foram coletadas diretamente com o auxílio de garrafões plásticos de 5 litros, mergulhados 15 a 20 centímetros abaixo de superfície da água. As amostras assim embaladas foram transportadas até o laboratório de Limnologia do CPA da ELETRONORTE em Tucuruí.

A determinação do oxigênio dissolvido requer uma coleta com cuidados especiais. Usam-se frascos de vidro de 125 ml e 250 ml com tampa esmerilhada. A coleta é feita com cuidado para evitar intercâmbio de gases entre a água e o ar. As amostras são fixadas no momento da coleta, utilizando-se o método de Winkler.

As amostras para a determinação do pH, condutividade e temperatura foram coletadas em frascos de vidro de 150 ml com tampa plástica.

A coleta de amostras de água de profundidade foi efetuada utilizando-se a garrafa de Van Dorn de 5 litros. Após, feita as coletas na profundidade desejada, foram separadas as diferentes alíquotas para a determinação de oxigênio dissolvido, pH, condutividade e temperatura. Os restantes de cada amostra foram acondicionados em garrafões plásticos para serem transportados ao laboratório do CPA em Tucuruí.

Os trabalhos de amostragem foram realizados utilizando-se barcos de alumínio a motor, pertencentes a ELETRONORTE. O deslocamento até a estação M5 foi feito de

carro, até o Município de Itupiranga pelas rodovias PA-150 e BR-230. Nesse município alugou-se um barco para ser usado nos trabalhos de amostragem na estação M5.

A metodologia utilizada na coleta e preservação das amostras encontra-se em Souza & Derisio (1977) e CETESB (1987).

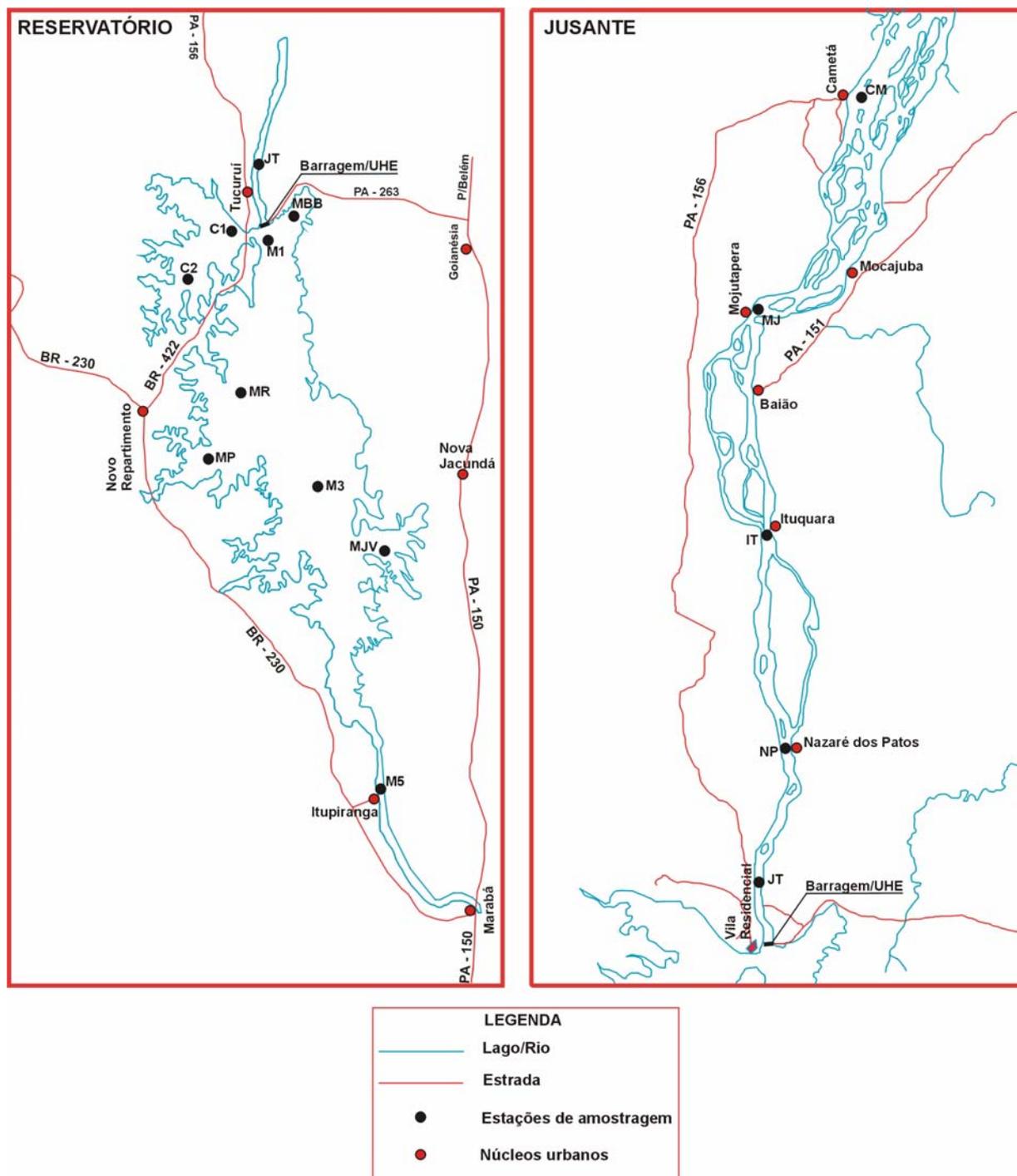


Figura 3 – Mapa das estações de amostragem no reservatório e rio Tocantins à jusante.

3.2 – TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Os parâmetros que apresentam menores prazos foram medidos e analisados no mesmo dia da amostragem, em Tucuruí, as demais determinações foram feitas em Belém.

Como foi dito anteriormente, pH, temperatura, transparência e condutividade elétrica foram determinados no campo.

No laboratório de limnologia do CPA da ELETRONORTE em Tucuruí, para cada amostra foram determinados alcalinidade, HCO_3^- , oxigênio dissolvido, CO_2 livre, STS, nitrato, amônia, ferro total e fósforo total.

Nesse laboratório também foram separadas as alíquotas para a análise do Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ . As amostras foram filtradas, acidificadas e acondicionadas em garrafas plásticas para posterior transporte até o laboratório de absorção atômica do Centro de Geociências da UFPa em Belém, onde esses parâmetros foram analisados.

Os métodos e instrumentos utilizados na determinação das variáveis físicas, físico-químicas e químicas foram os seguintes:

Temperatura – Medida direta com o termômetro de mercúrio.

Transparência – Através do disco de Secchi, com resultados em metros (Souza & Derisio, 1977).

pH - Seus valores foram obtidos por leitura no pH-meter FIELDLAB, marca SHOTT, com compensação automática de temperatura. Limites 0,01 - 14.

Condutividade – Esta variável foi determinada por método eletrométrico através do condutivímetro modelo 115, marca ORION, com compensação automática de temperatura. Limite de detecção 0,01 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

HCO_3^- – Calculado através da fórmula:

$$\text{HCO}_3^- = \text{alcalinidade} \times 1,22 \text{ (Custódio \& Llamas, 1976).}$$

CO_2 livre – Calculado através da fórmula:

$$\text{CO}_2 \text{ livre} = 1,589 \times 10^{6-\text{pH}} \times \text{HCO}_3^- \text{ (mg/L)}$$

Oxigênio dissolvido - O oxigênio dissolvido foi determinado por titulometria, através do método de Winkler com azida sódica, com resultados em mg/L e limite de detecção de 0,10 mg/L (CETESB, 1978).

Sólidos totais em suspensão - Método gravimétrico. Os filtros de membrana foram secos em estufa e pesados antes e depois da filtração de um certo volume da amostra (500 a 1000 ml). Utilizando-se a fórmula $C = [(Pf - Pi) \times 1000/Va]$, sendo;

Pi = peso do filtro de membrana 0,45 μm em gramas

Pf = peso do filtro em gramas após filtração e secagem

Va = volume da amostra filtrada, em litros

C = concentração em mg/L

Amônia – Colorimetria, através do método do azul do indofenol, com resultados em $\mu\text{g N-NH}_4^+ /\text{L}$ (STANDARD, 1976; Golterman *et al.*, 1978; Mackereth *et al.*, 1978).

Nitrato – Colorimetria, usando o método da redução prévia do nitrato para nitrito, com cádmio. A quantidade de nitrito originalmente presente é subtraída do total. Resultado em $\mu\text{g N-NO}_3/\text{L}$ (Mackereth *et al.*, 1978).

Fósforo total – Colorimetria, através da reação do ortofosfato com o molibdato de amônio e antimonil tartarato de potássio e redução com o ácido ascórbico, formando um complexo azul de molibdênio. Resultados em $\mu\text{g P-PO}_4^{3-} /\text{L}$ (CETESB, 1978).

Ferro total – Determinado por absorção atômica, utilizando-se espectrofotômetro FMD4 – ZEISS e lâmpada de cátodo ôco do elemento, com chama ar/acetileno; $\lambda = 496,7 \text{ nm}$.

Ca, Mg, Na e K – Espectrofotometria de absorção atômica/emissão de chama, determinados com espectrofotômetro modelo FMD 4, marca ZEISS. As amostras foram filtradas através de filtros de membrana 0,45 μm . Resultados em mg/L (CETESB, 1978).

Clorofila-a – Método espectrofotométrico tricromático com leitura em espectrofotômetro ultravioleta/visível GDC modelo 916, na região de comprimento de onda entre 400 e 800 nm. Resultados em mg/L.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – ASPECTOS GERAIS

Foi feito um estudo da atual hidroquímica do sistema em 2001, considerando os dois períodos sazonais, chuvoso (março) e estiagem (setembro), além de uma análise temporal com as principais variáveis durante o período de 1986 a 2001, onde os dados foram tratados estatisticamente sendo apresentados os respectivos valores de média e desvio padrão.

Estudaram-se os níveis tróficos do sistema em 2001 através do Índice de estado trófico de Carlson utilizando as variáveis transparência, clorofila-a e fósforo total, este estudo abrangeu ainda o rio Tocantins à jusante em várias estações.

4.2 – HIDROQUÍMICA DO SISTEMA

4.2.1 – Parâmetros físicos e físico-químicos

a - Temperatura

De modo geral a temperatura das águas superficiais é influenciada pela temperatura do ar.

Temperaturas acima de 33°C aceleram as reações químicas e bioquímicas, favorecendo o desenvolvimento de microrganismos (Rodier, 1981).

Segundo Reid & Wood¹ *apud* Ribeiro (1992), materiais em suspensão podem influir para a temperatura da água dos rios, pois absorvem freqüentemente grande quantidade de calor.

A maior importância da temperatura da água de lagos e reservatórios, entretanto, está relacionada à estrutura térmica destes corpos d' água (Schafer, 1985). A estrutura térmica pode ser homogênea, apresentando uma isógrada de temperatura, que é resultado da circulação da massa d' água, ou pode mostrar um gradiente vertical de

¹ REID, G. K. & WOOD, R. D. 1976. Environmental variables of natural waters. In: Ecology of inland waters and estuaries. 2. ed. New York, Van Nostrand. p. 123 – 257.

temperatura, se não houver circulação vertical acentuada pode ser gerada uma estratificação térmica.

Nos ecossistemas aquáticos continentais, a quase totalidade da propagação do calor ocorre por transporte de massa d' água, sendo a eficiência deste em função da ausência ou presença de camadas de diferentes densidades.

A estação M5 que de certa forma representa as águas do rio Tocantins apresentou valores de 28,7 e 29,3°C, nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

De maneira geral, pode-se dizer que na estiagem as águas do interior do reservatório apresentaram temperaturas mais elevadas do que as águas do rio Tocantins à montante, tanto no compartimento do Caraipé como no corpo central.

As maiores temperaturas foram registradas no período de estiagem (agosto/setembro), fato este que já era de se esperar, pois é o período de maior incidência da radiação solar, o valor mínimo encontrado neste período foi de 29,20°C e o máximo de 30,70°C observados nas estações C1 e C2 respectivamente. Este fato retrata ainda o efeito da sazonalidade no ambiente estudado.

Um fato extremo aconteceu na estação MP que apresentou uma temperatura de 32,50°C para o período chuvoso (fevereiro/março) (Tabela 1).

Na tabela 1 podemos constatar que a temperatura do ambiente de estudo está variando entre 28 e 32,50°C, segundo Sioli (1969), as temperaturas dos rios amazônicos variam entre 28 e 30°C.

b - Transparência

Do ponto de vista ótico a transparência pode ser considerada o oposto da turbidez (Branco, 1978). A medida da transparência é feita através do disco de Secchi que segundo Preisendorfer² *apud* Branco (1978), destina-se à medida visual da transparência da água.

²PREISENDORFER, R. W. 1986. "Secchi disk Science: visual optics of natural waters". Limnology. Oceanogr., 31: 909-926.

A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no caminho ótico (Branco, 1978). É necessário ressaltar que esta medida sofre influência de fatores como: refletividade da água, fluxo de luz, cor e material em suspensão, podendo estes, fornecerem um certo grau de incerteza sobre a medida avaliada.

A porção iluminada determinada pela transparência é denominada zona eufótica e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática. É também a zona do corpo d' água onde ocorrem os processos de produção primária. Segundo Schafer (1985), abaixo do limite inferior da zona eufótica a luminosidade não é suficiente para a produção primária efetiva.

Com relação à transparência, o ambiente de estudo apresenta um comportamento atrelado às variações sazonais com grande influência do período chuvoso sobre tal variável, haja vista que das nove estações investigadas somente uma (C1) apresentou um nível de transparência menor no período de estiagem (Figura 4).

As águas da estação M5, tiveram os menores valores de transparência registrados durante este estudo, onde observamos valores de 0,60 m para o período de chuvas e 0,80 m para a estiagem.

No interior do reservatório as estações MP (1,20m) e MJV (0,90m), localizadas nas margens esquerda e direita do reservatório respectivamente, apresentaram níveis de transparência menores do que as demais, durante o período chuvoso.

A estação JT à jusante da barragem, apresentou um comportamento similar ao do interior do reservatório com uma variação de 1,50 e 3,40 m no dois períodos investigados.

De maneira geral, pode-se dizer que as estações MP, MJV e M5 sofrem maior influência das margens, que através do carreamento do material em suspensão por ação do escoamento superficial, sobretudo no período de chuvas, têm seus níveis de transparência reduzidos. É importante citar ainda que a zona mais central do reservatório deve registrar uma maior produtividade primária em virtude de uma maior zona eufótica.

c - Sólidos totais em suspensão (STS)

Esse parâmetro corresponde ao material particulado encontrado suspenso no corpo d' água, composto por substâncias inorgânicas e orgânicas, incluindo-se aí os organismos planctônicos (fito e zooplâncton).

Segundo Schafer (1985), a quantidade de sólidos totais em suspensão presente em um sistema aquático, depende dos seguintes fatores: condições hidrológicas, relevo, tipos de solo e cobertura vegetal da bacia tributária, além do regime pluviométrico.

O material em suspensão preocupa no que tange ao assoreamento contínuo do lago formado, pois algumas represas em várias partes do mundo tiveram suas capacidades diminuídas, provocando queda na produção de energia e de sua vida útil (Januário & Fisch, 1992). Tal problema foi discutido em diversos estudos limnológicos encontrados na literatura (Petri & Fúlfato, 1965; Santos, 1983).

No rio Tocantins (M5) registraram-se concentrações de sólidos totais suspensos na ordem de 31,14 e 6,2 mg/L, nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente. Evangelista (1993), em 1991 registrou valores de 26,7 e 17,5 mg/L para o mesmo período sazonal citado acima, o que revela um pequeno aumento em 2001 dos valores de STS no período chuvoso e uma redução significativa na estiagem.

No interior do reservatório os níveis de STS foram menores do que os encontrados no rio Tocantins à montante do lago, variando entre 1,20 e 6,62 mg/L no período chuvoso e entre 0,20 e 3,60 mg/L na estiagem.

A estação JT que representa as águas que saem do reservatório, apresentou uma concentração de 2,60 mg/L na amostragem feita no período de chuvas e 1,20 mg/L na estiagem, o que se assemelha aos valores encontrados no interior do reservatório (Tabela 1).

Pode-se dizer que a maioria das estações tiveram o maior valor registrado no período chuvoso, fato que pode estar relacionado à lavagem dos solos da bacia que é mais acentuada neste período.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros físicos nas águas superficiais, determinados em 2001.

Estação	Período chuvoso			Período de estiagem		
	Temperatur a (°C)	Transparênci a (m)	STS (mg/L)	Temperatur a (°C)	Transparênci a (m)	STS (mg/L)
M5	28,70	0,60	31,14	29,30	0,80	6,20
MP	32,50	1,20	3,80	30,60	3,00	3,00
MJV	29,70	0,90	6,62	30,40	2,20	3,60
C1	28,80	3,20	1,20	29,20	3,10	1,80
C2	29,00	2,50	3,00	30,70	4,00	1,60
MR	28,00	2,50	5,60	29,90	3,00	0,60
MBB	28,00	2,20	1,60	29,60	4,40	0,20
M1	28,50	1,60	2,88	29,50	5,00	1,00
JT	28,60	1,50	2,60	29,90	3,40	1,20

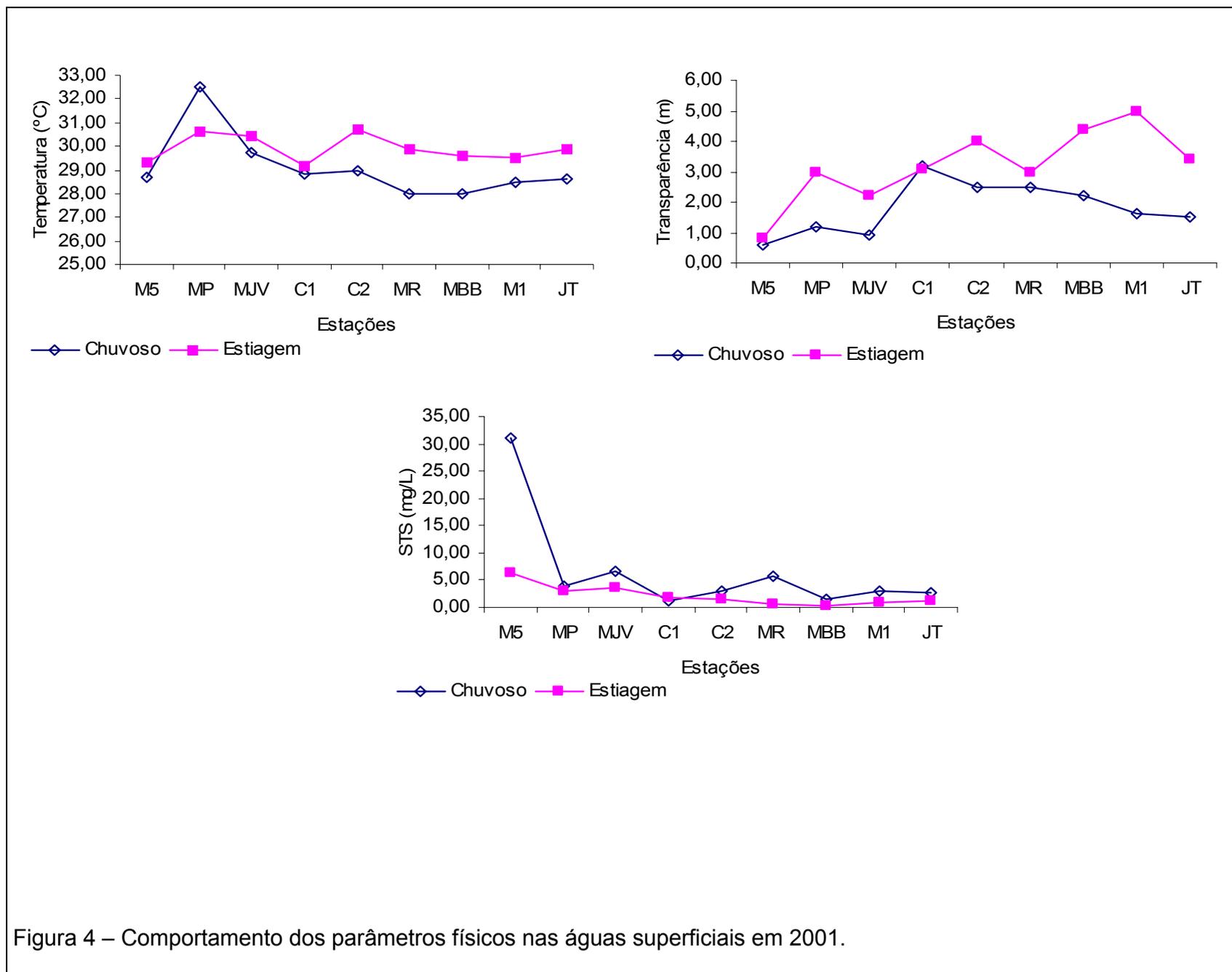


Figura 4 – Comportamento dos parâmetros físicos nas águas superficiais em 2001.

d – pH

Este parâmetro representa a concentração de íons hidrogênio H^+ , dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade e basicidade (Baumgarten, 2001). É um importante fator de equilíbrio dos sistemas químicos e biológicos das águas naturais (Carmouze, 1994).

O pH é uma variável de grande importância nos ambientes aquáticos, podendo ser a causa de muitos fenômenos químicos e biológicos, porém pode também ser consequência de outra série de fenômenos. Por exemplo, o pH exerce uma forte influência sobre a toxicidade dos metais pesados, cujos compostos tendem a se redissolver em meio ácido, tornando-os mais tóxicos e biodisponíveis (Vinatea Arana, 1997).

As variações do pH no meio aquático estão relacionadas com a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese.

Os índices de pH estudados neste trabalho mostraram-se sempre acima de 6,88, com um valor máximo de 8,48 na estação MP (Tabela 2).

Segundo Sperling (1995), altos valores de pH podem estar associados à proliferação de vegetais em geral, pois com o aumento da fotossíntese há consumo de gás carbônico e, portanto, diminuição do ácido carbônico da água e conseqüente aumento do pH.

No período chuvoso o pH variou de 7,08 a 7,43 no interior do reservatório e na estiagem de 6,88 a 8,48.

É importante ressaltar o comportamento da estação MP com relação às demais (Figura 5), pois a mesma apresentou valores mais elevados, tanto no período chuvoso (7,43) como na estiagem (8,48).

Do ponto de vista prático percebe-se que os valores de pH em 2001, estiveram sempre próximos à neutralidade, o que é um fato benéfico, pois previne os componentes das turbinas de efeitos danosos, evitando os problemas de corrosão (Tundisi & Straskraba, 2000).

e – Condutividade elétrica

A condutividade é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica, está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente.

Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Custódio & Llamas (1976) sugerem como um controle aproximado dos dados, a relação da condutividade com a somatória de cátions e ânions (em miliequivalentes), de uma determinada amostra. A relação dada por:

$$\text{condutividade } (\mu\text{mhos/cm}) = 50 \times \Sigma (\text{cátions} + \text{ânions})$$

A condutividade elétrica da água pode variar de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas. Em águas cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas (>9 ou <5), os valores de condutividade são devidos apenas as altas concentrações de poucos íons em solução, dentre os quais os mais freqüentes são o H⁺ e o OH⁻, respectivamente.

Na estação M5 os valores encontrados foram de 38,9 e 72,7 $\mu\text{S/cm}$ no período chuvoso e na estiagem, respectivamente. Ramos & Corrêa (dados não publicados) obtiveram valores variando entre 26,8 e 37,6 $\mu\text{S/cm}$ nas águas do rio Xingu em Altamira-PA.

O interior do reservatório apresentou valores de condutividade elétrica variando de 40,50 a 67,70 $\mu\text{S/cm}$ no período de chuvas e de 46,10 a 57,60 $\mu\text{S/cm}$ no período de estiagem (Tabela 2).

Segundo alguns autores, em regiões tropicais os valores de condutividade elétrica nos ambientes aquáticos estão mais relacionados com as características geoquímicas da região onde se localizam, assim como com as condições climáticas (chuva e seca).

Houve uma variação nos valores desta variável com relação ao período sazonal. Nas estações localizadas nas proximidades das margens, como MP e C2 (Figura 3), o período chuvoso registra maiores valores, o que pode estar relacionado aos processos erosivos do solo, por ação da precipitação pluviométrica.

Tabela 2 - Valores dos parâmetros físico-químicos nas águas superficiais, determinados em 2001.

Estação	Período chuvoso		Período de estiagem	
	pH	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)
M5	7,02	38,90	7,94	72,70
MP	7,43	67,70	8,48	47,90
MJV	7,08	43,20	6,90	46,80
C1	7,09	49,50	6,88	49,50
C2	7,15	51,50	7,11	46,10
MR	7,16	55,30	7,07	52,80
MBB	7,17	51,70	7,11	57,60
M1	7,33	40,50	7,64	53,10
JT	7,47	45,70	6,88	57,70

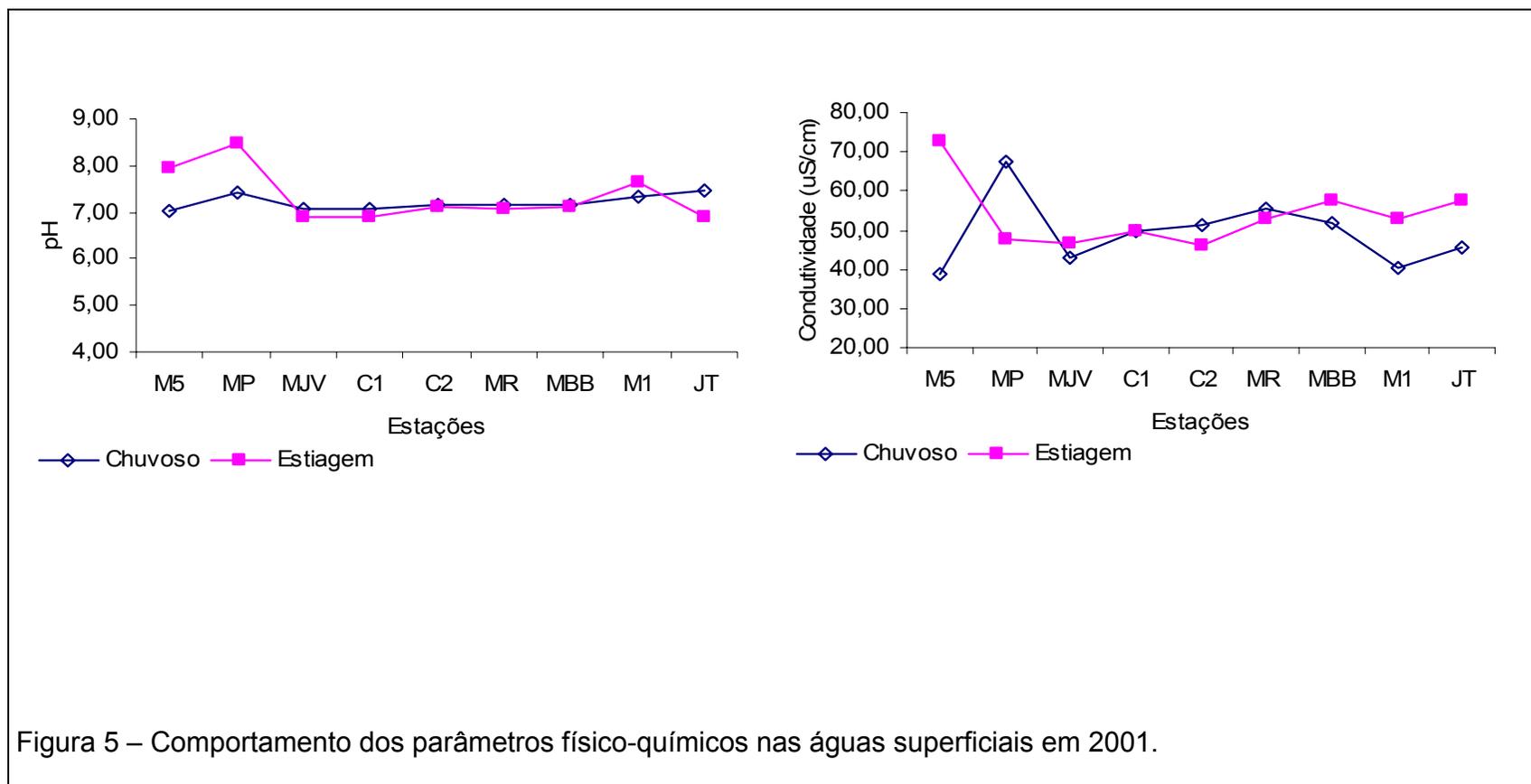


Figura 5 – Comportamento dos parâmetros físico-químicos nas águas superficiais em 2001.

4.2.2 – Cátions e HCO_3^-

Em geral nos sistemas aquáticos, cálcio, sódio, magnésio e potássio ocorrem essencialmente como cátions simples e dominantes. Estes íons têm importante papel produtividade global dos ecossistemas aquáticos, pois fazem parte de importantes processos fisiológicos de suas comunidades.

O ânion predominante nas águas continentais é o bicarbonato que provém basicamente da dissociação do H_2CO_3 (ácido carbônico) em H^+ e HCO_3^- . Segundo Drever (1988), o H_2CO_3 é produto da reação do CO_2 com a água.

a – Cálcio (Ca^{2+})

O cálcio é o cátion principal na maioria das águas continentais. Seu comportamento geoquímico nesses ambientes está associado ao equilíbrio CO_2 – CaCO_3 . É essencial para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e muitos animais, em especial moluscos (Esteves, 1988). Além disso, interfere em um dos fatores físico-químicos mais importantes do meio aquático que é o pH.

Na região amazônica, Sioli (1953) mostrou que a concentração de cálcio influencia diretamente a distribuição de moluscos nas águas desta região. O autor verificou ausência destes organismos em regiões com concentração muito baixas de cálcio.

A concentração média de cálcio nas águas dos rios é de 15 mg/L (Livingstone³ *apud* Evangelista, 1993).

Em 2001 a estação M5 apresentou valores de 4,90 e 6,4 mg/L nos períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente. Esses valores retratam uma pequena influência do período sazonal no rio Tocantins, registrando ainda, uma pequena alta em seu valor absoluto quando comparados com os resultados obtidos por Evangelista, 1993 que verificou níveis de Ca^{2+} de 3,1 mg/L em 1991 para os dois períodos sazonais.

No interior do reservatório os valores variaram entre 4,0 e 4,64 mg/L no período chuvoso e de 2,88 a 5,12 mg/L na estiagem. Ao contrário do que acontece no rio

³ LIVINGSTONE, D. A. 1963. Chemical composition of rivers and lakes. Washington, U.S. Gov. Print. Off. 64p. (Geol. Surv. Prof. , 440-G).

Tocantins (M5), neste ambiente, os menores valores são registrados no período de estiagem, mesmo sendo uma diferença pequena (Figura 6).

Segundo Evangelista *op cit* no interior do reservatório a concentração no período chuvoso era de 3,3 mg/L, hoje é de 4,32 mg/L. Na estiagem também verifica-se uma elevação, pois em 1990 era de 2,5 mg/L, assumindo o valor de 3,71 mg/L em 2001.

Na estação JT foram registrados os valores de 3,84 e 5,60 mg/L nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

Nota-se que na estiagem as concentrações de Ca^{2+} são maiores no rio Tocantins (M5 e JT), do que no reservatório (Figura 6), este fato pode estar relacionado a uma maior adsorção deste cátion ao substrato do reservatório.

b – Magnésio (Mg^{2+})

A maior importância do magnésio se deve à sua participação na formação da molécula de clorofila. Além disto, participa de inúmeros processos metabólicos na célula, como por exemplo no metabolismo do nitrogênio (Esteves, 1988).

As concentrações de Mg^{2+} nas águas continentais geralmente é baixa devido sua escassez geoquímica.

A concentração média de magnésio nas águas dos rios é de 4,1 mg/L (Livingstone⁴ *apud* Evangelista, 1993).

Em 2001 a estação M5 apresentou valores de 1,65 e 3,60 mg/L nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente. Assim como o Ca^{2+} , o Mg^{2+} também apresentou uma pequena influência do período sazonal no rio Tocantins com maior concentração no período de estiagem. Não houve neste trecho uma variação significativa desta variável, se comparado com 1990 e 1991.

No interior do reservatório os valores variaram entre 1,75 e 3,11 mg/L no período chuvoso e de 1,46 a 3,60 mg/L na estiagem. Neste ambiente não há influência tão considerável do período sazonal (Figura 6).

À jusante da barragem (JT) o rio Tocantins apresentou concentrações similares às encontradas no interior do reservatório. Assim, pode-se dizer, que não há grandes

⁴ LIVINGSTONE *op cit*.

diferenças entre as águas do lago e as do rio (montante e jusante), com relação a este elemento (Tabela 3).

Não houve variações significativas se comparado com os resultados obtidos por Evangelista *op cit* no interior do reservatório, pois a concentração no período chuvoso era de 2,20 mg/L, sendo encontrado hoje o mesmo valor. Na estiagem esse valor era de 1,8 mg/L em 1990 e em 2001 de 2,18 mg/L.

c – Sódio (Na^+)

No meio aquático, este íon dificilmente atua como fator limitante, é muito comum nas águas doces naturais, em decorrência de sua elevada solubilidade. Assim como cálcio e magnésio, sofrem adsorção das partículas carregadas negativamente (argilas e etc.), porém, em menor intensidade. Caracteriza-se por apresentar mobilidade geoquímica muito alta (Levinson, 1974).

A concentração deste elemento nas águas continentais, geralmente, é inferior a do cálcio, por ser geoquimicamente menos abundante. Em média a concentração de Na^+ em águas de rios é 6,3 mg/L.

Em 2001 a estação M5 apresentou valores de 2,0 e 1,8 mg/L nos períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente. Esses valores demonstram que não houve influência do período sazonal no rio Tocantins. Esses valores não apresentam uma variação significativa quando comparados com os resultados obtidos por Evangelista *op cit*, que verificou níveis de 2,2 e 1,2 mg/L em 1991 para os dois períodos sazonais.

No interior do reservatório os valores variaram entre 1,7 e 3,0 mg/L no período chuvoso e de 2,0 a 3,6 mg/L na estiagem. Neste ambiente verifica-se uma influência do período sazonal nas estações marginais (MP e MBB) localizadas no corpo central, que registram maiores concentrações de Na^+ no período de estiagem, este fato pode estar associado ao fator diluição que é maior na época de chuvas (Figura 6).

Assim como o Mg^{2+} , o Na^+ não apresentou variações significativas quando comparados os resultados obtidos por Evangelista *op cit* no interior do reservatório, repetindo inclusive a média encontrada no período chuvoso de 1991(2,2 mg/L). Na estiagem a média era de 1,7 mg/L em 1990 e em 2001 de 2,7 mg/L, registrando uma pequena alta.

De maneira geral, as águas do interior do reservatório apresentaram concentrações menores de Na^+ do que as do rio Tocantins, não havendo grandes diferenças, quando comparados as duas principais porções do reservatório (Corpo central e Caraipé).

d – Potássio (K^+)

Entre os cátions principais nas águas, o potássio é aquele que apresenta as mais baixas concentrações. Assim como os demais cátions, este liberado das rochas pelos processos intempéricos, mas é facilmente adsorvido pelas argilas e matéria orgânica, além de ser incorporado aos produtos sólidos do intemperismo.

Este elemento participa no ciclo biológico como elemento nutritivo importante das plantas e segundo Santos (1986), a concentração média de K^+ nas águas de rios é 2,3 mg/L.

A estação M5 apresentou valores de 1,5 e 1,3 mg/L nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente. Esses valores demonstram que não houve influência do período sazonal no rio Tocantins, além de não apresentarem uma variação significativa quando comparados com os resultados obtidos por Evangelista *op cit*, que verificou níveis de 1,3 e 1,2 mg/L em 1991 para os dois períodos sazonais.

No interior do reservatório os valores encontrados variaram entre 1,1 e 1,9 mg/L no período chuvoso e de 1,2 a 2,1 mg/L na estiagem (Tabela 3).

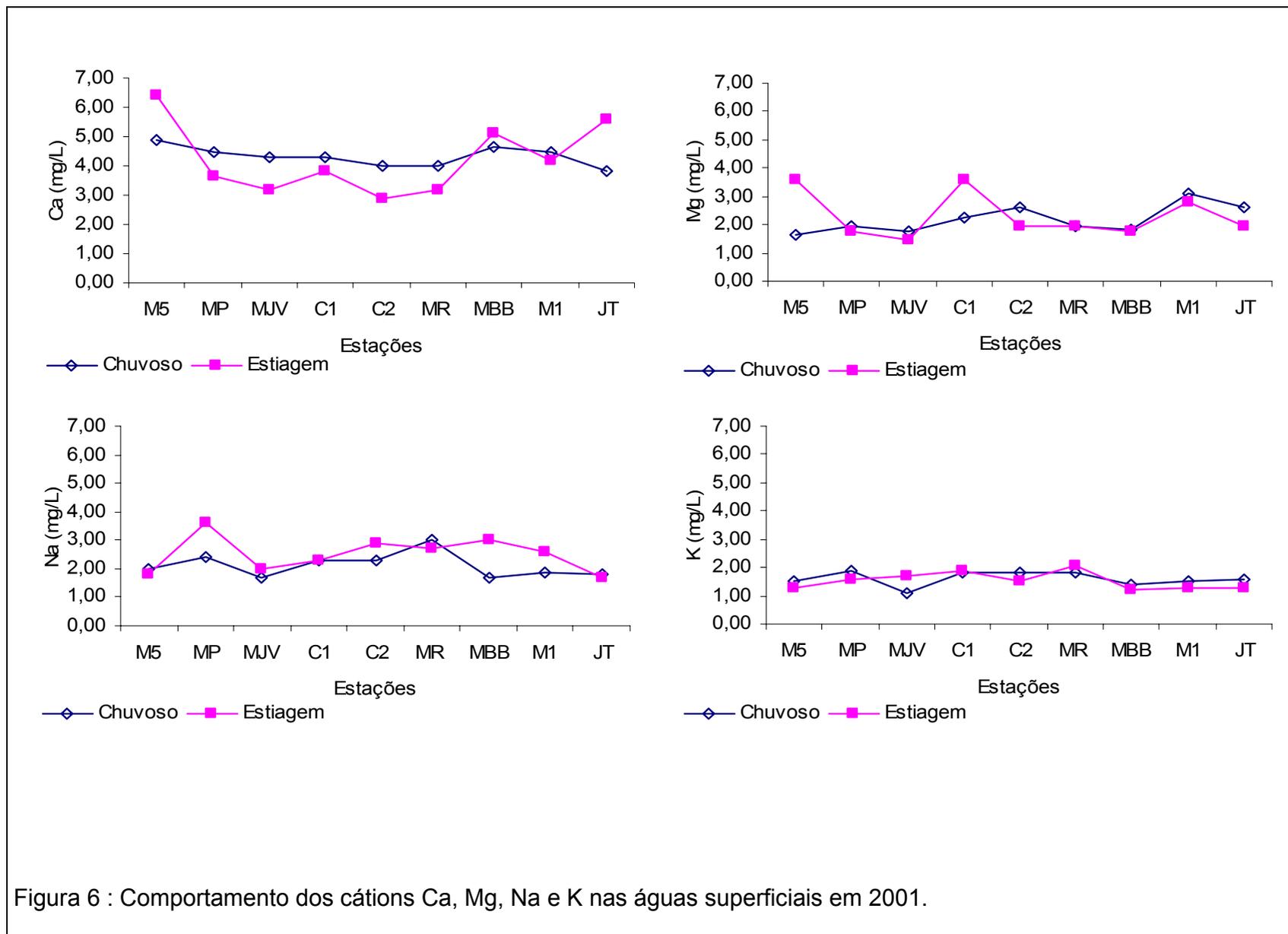
Assim como o Mg^{2+} e Na^+ , o K^+ não apresentou variações significativas quando comparados os resultados obtidos por Evangelista *op cit* no interior do reservatório. No período de chuvas de 1991 o valor encontrado foi de 1,5 mg/L contra 1,6 mg/L em 2001, na estiagem de 1990 encontrou-se 1,0 mg/L e em 2001 1,6 mg/L.

De maneira geral, as águas do interior do reservatório apresentaram uma certa similaridade com as águas do rio Tocantins em termos de concentração, tanto no período de chuva como de estiagem (Figura 6).

É importante ressaltar também que os níveis de Na^+ e K^+ se apresentaram em menores concentrações do que Ca^{2+} e Mg^{2+} , o que pode estar associado à uma menor requisição destes por parte dos vegetais no ambiente estudado.

Tabela 3 - Valores de cátions nas águas superficiais, determinados em 2001.

Estação	Período chuvoso				Período de estiagem			
	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
M5	4,90	1,65	2,00	1,50	6,40	3,60	1,80	1,30
MP	4,48	1,94	2,40	1,90	3,62	1,75	3,60	1,60
MJV	4,32	1,75	1,70	1,10	3,20	1,46	2,00	1,70
C1	4,32	2,23	2,30	1,80	3,84	3,60	2,30	1,90
C2	4,00	2,62	2,30	1,80	2,88	1,94	2,90	1,50
MR	4,00	1,94	3,00	1,80	3,20	1,94	2,70	2,10
MBB	4,64	1,85	1,70	1,40	5,12	1,75	3,00	1,20
M1	4,48	3,11	1,90	1,50	4,16	2,82	2,60	1,30
JT	3,84	2,62	1,80	1,60	5,60	1,94	1,70	1,30



e – Bicarbonato (HCO_3^-)

A quantidade do íon bicarbonato em águas está diretamente relacionada ao dióxido de carbono dissolvido que por sua vez relaciona-se com os efeitos do equilíbrio de carbonatos (Braz, 1985).

Em algumas regiões do mundo, água doce cujas características são valores de $\text{pH} \cong 8$, predomina o bicarbonato, constituindo cerca de 60 a 90% do carbono inorgânico total e sua concentração nesses corpos d' água varia de 50 a 300ppm (Mcneely *et al.* 1979). Segundo Santos (1986), o bicarbonato é ânion dominante no rio Tocantins, com concentrações médias em torno de 70 mg/L.

Não foi possível ser feito uma análise desta variável considerando as variações sazonais no ano de 2001, pois a mesma não continha nos dados cedidos pela Eletronorte. Por isso utilizamos os resultados obtidos em campanha própria realizada em novembro de 2001.

Nesta amostragem o rio Tocantins apresentou uma concentração de 44,4 mg/L de HCO_3^- este valor é maior quando comparado com a concentração encontrada em 1990 por Evangelista *op cit* que foi de 26,6 mg/L.

No corpo central verifica-se uma elevação na concentração de HCO_3^- , pois em 1990 a estação M1 apresentou um valor de 22,7 mg/L, em 2001 o valor encontrado foi de 29,28 mg/L (Tabela 4).

Não houve uma diferença significativa desta variável entre o compartimento Caraipé e o corpo central.

É importante ressaltar que o rio Tocantins apresentou valores mais elevados de HCO_3^- , tanto na montante (M5) como na jusante (JT), como mostra a figura 7. Segundo Santos (1983), o íon bicarbonato nas proximidades de Tucuruí, durante o período de estiagem, é influenciado provavelmente pela contribuição da água do lençol subterrâneo.

Tabela 4 - Valores do ânion bicarbonato (HCO_3^-) nas águas superficiais, na estiagem de 2001.

Estação	HCO_3^- (mg/L)
M1	29,28
MBB	31,11
C1	34,16
C2	28,18
M5	44,41
MR	35,01
M3	39,28
JT	40,99

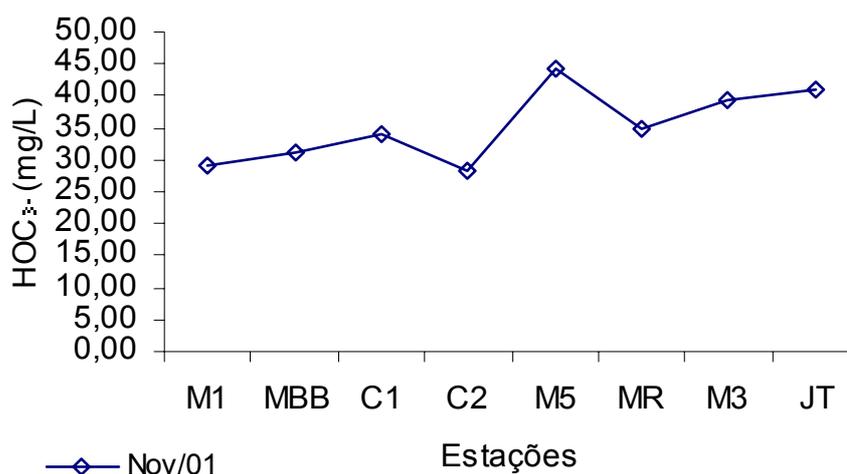


Figura 7 - Comportamento do HCO_3^- nas águas superficiais, na estiagem de 2001.

4.2.3 – Gases dissolvidos

a – Gás carbônico livre (CO_2 livre)

O gás carbônico é comum nas águas, onde pode ter várias origens, sendo as principais: atmosfera, chuvas, águas subterrâneas, decomposição e respiração de organismos (Esteves, 1998).

Quando em altas concentrações, este elemento perde-se rapidamente para a atmosfera ou para a água por interações com o carbonato de cálcio, porém a respiração da biota faz com que o mesmo seja continuamente produzido (Drever, 1988).

Não foi possível ser feito uma análise desta variável considerando as variações sazonais no ano de 2001, pois a mesma não continha nos dados cedidos pela Eletronorte, por isso utilizamos os resultados obtidos em campanha própria realizada em novembro de 2001.

O valor de CO₂ livre encontrado foi de 1,86 mg/L no rio Tocantins representado pela estação M5, valor um pouco inferior ao encontrado por Evangelista (1993), na estiagem de 1990 no mesmo local, que foi de 2,3 mg/L.

No geral pode-se dizer que estes valores são baixos, se comparados a outros ambientes lóticos da Amazônia, pois Menezes (1999) encontrou valores em ecossistemas amazônicos variando entre 6,55 e 7,58 mg/L no período de estiagem de 1996.

No interior do reservatório os valores encontrados foram maiores do que no rio Tocantins, fato este observado tanto no compartimento Caraipé, onde C1 registrou o valor de 6,99 mg/L, como no lago principal, onde MR e M3 apresentaram valores de 6,84 e 7,5 mg/L, respectivamente (Figura 8).

Percebe-se no interior do reservatório uma estratificação dos valores de CO₂ livre, pois os conteúdos deste elemento, em geral, aumentaram com a profundidade. A estação MR que nesta amostragem registrou uma concentração nas águas superficiais de 6,84 mg/L, registrou um aumento para 23,72 mg/L nas águas de fundo. Na estação C1 o aumento foi de 6,99 para 12,04 mg/L e na MBB de 2,91 para 10,78 mg/L no hipolímnio (Tabela 5). Segundo Esteves (1988), este fenômeno pode ser explicado pela atividade fotossintética do fitoplâncton durante o dia, que causa o empobrecimento do carbono orgânico na superfície da água. Por outro lado, no hipolímnio, devido a decomposição de matéria orgânica e à respiração de organismos, ocorre um aumento na concentração de CO₂ livre, gerando um gradiente na coluna d' água que está relacionado com a intensidade de produção do ecossistema.

Evangelista (1993) registrou uma variação com a profundidade na estiagem de 1990 muito parecida com as citadas no parágrafo anterior, onde a concentração de CO₂ livre na superfície foi de 5,0 mg/L e nas águas de fundo foi de 24,2 mg/L.

Tabela 5 - Valores de CO₂ livre nas águas de superfície e fundo, na estiagem de 2001.

Estação	CO ₂ (livre) (mg/L)	
	Superfície	Fundo
M5	1,86	sd
MR	6,84	23,72
M3	7,50	5,08
C1	6,99	12,04
C2	6,18	7,09
MBB	2,91	10,78
M1	4,34	8,23
JT	7,31	sd

sd –sem dados

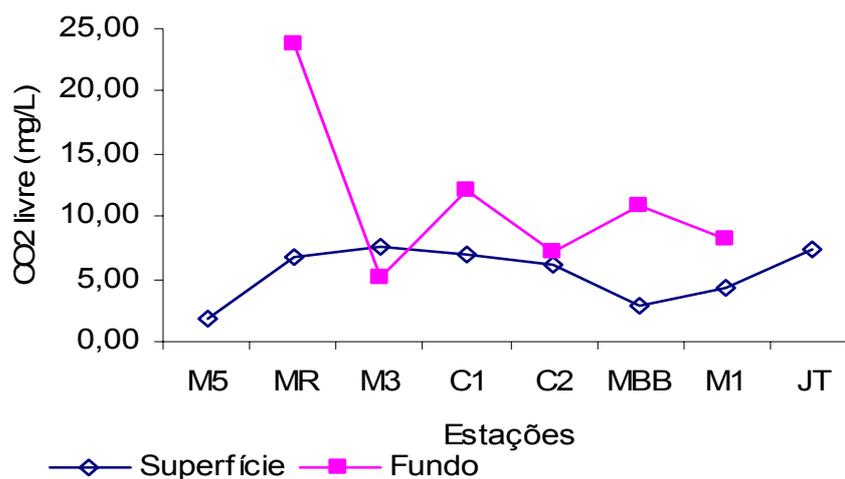


Figura 8 – Comportamento do CO₂ livre em superfície e fundo, na estiagem de 2001.

b – Oxigênio dissolvido (OD)

Assim como o CO₂, o O₂ desempenha papel relevante em processos biológicos, tais como a fotossíntese, respiração e a decomposição da matéria orgânica detritica.

O oxigênio dissolvido é uma variável de grande importância ambiental, sendo um índice de qualidade da água bastante significativo, pois permite avaliar disponibilidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente nas águas.

Durante a estabilização aeróbia da matéria orgânica (decomposição ou mineralização), as bactérias decompositoras fazem uso do oxigênio em seus processos respiratórios, podendo diminuir sua presença no meio.

Segundo Boyd (1979), as concentrações de oxigênio dissolvido decrescem com o aumento da temperatura. Caso esse oxigênio seja totalmente consumido pela biota presente no local, têm-se as condições anaeróbias no meio (ausência de oxigênio) e a geração de condições redutoras, aumentando a toxicidade de muitos elementos químicos, que assim tornam-se mais solúveis, biodisponíveis, como por exemplo o fosfato.

Na represa de CURUÁ-UNA (região amazônica do estado do Pará), Junk *et al.* (1981), demonstraram que cerca de 60% do oxigênio do epilímnio deste ecossistema é de origem atmosférica.

Na estação M5, representante das águas do rio Tocantins, encontraram-se valores de 5,9 e 8,3 mg/L nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente. Evangelista (1993), observou na mesma estação uma concentração de 7 mg/L no período de estiagem de 1990.

As concentrações de oxigênio verificadas no rio Tocantins são similares à outras obtidas em rios da região amazônica, por exemplo Menezes (1999) registrou valor de 6,9 mg/L no rio Guamá, independente do período sazonal.

No interior do reservatório os níveis de oxigênio nas águas superficiais variaram entre 4,7 e 5,9 mg/L no período chuvoso, não havendo uma diferença significativa entre o compartimento Caraipé e o Corpo Central. No período de estiagem os níveis de oxigênio dissolvido variaram entre 3,8 e 7,2 mg/L (Tabela 6), sendo que o Corpo Central apresentou-se mais oxigenado que o compartimento Caraipé. Com vista nesta análise pode-se dizer que o reservatório sofre uma certa influência da sazonalidade, pois as maiores concentrações de oxigênio no epilímnio foram registradas no período de estiagem. Este fato pode ser devido à um aumento da taxa fotossintética do fitoplâncton e de uma redução da concentração de matéria orgânica que no período de estiagem grande parte já foi sedimentada e/ou precipitada ou decomposta.

No lago da hidrelétrica de Samuel que fica situado no rio Jamari, estado de Rondônia, observa-se uma estratificação na coluna d' água, onde os valores de OD

diminuem com a profundidade passando 6,04 mg/L no epilímnio para 0,22 mg/L no hipolímnio durante a época de chuvas. Na estiagem essa variação vai de 8,36 para 0,12 mg/L de oxigênio (Figueiredo *et al.*, 1994).

Em Tucuruí, com o aumento da profundidade nota-se o fenômeno de estratificação química configurada em várias partes do reservatório, gerando um gradiente na coluna d' água das concentrações de oxigênio (Figura 9).

No período de chuvas onde normalmente ocorre uma maior circulação vertical no corpo d' água, as estações MP, MJV e MR permaneceram estratificadas diferente das restantes.

Na estiagem as estações MBB e C2 apresentaram uma boa concentração de oxigênio no hipolímnio (Tabela 6), Segundo Esteves (1988), isto pode acontecer quando há ocorrência de ventos fortes, pois haverá injeções de oxigênio no hipolímnio, este fenômeno é resultado do efeito de "Seiches" internos (ondas horizontais), que muitas vezes invadem o metalímnio, podendo até chegar ao hipolímnio, oxigenando-o.

As estações MP, MJV, MR, C1 e M1 mostram-se estratificadas no período de estiagem, com condições anóxicas ($OD < 1$ mg/L) estabelecidas no hipolímnio (Tabela 7). Este fato pode ser devido ao depósito de material planctônico e de matéria orgânica no fundo do reservatório, onde certamente o consumo de OD é mais acentuado, pois com o acúmulo de matéria orgânica, o metabolismo das bactérias deverá ser mais intenso.

Ao contrário da estação M5 (montante do reservatório), a estação JT (jusante) apresentou níveis de OD maiores no período de chuvas do que na estiagem nas águas de superfície.

É importante ressaltar que segundo Evangelista (1993), o compartimento Caraipé em 1991 apresentou-se estratificado no período investigado, diferente de 2001, onde este fenômeno só ocorreu na estiagem, sendo verificada apenas na estação C1.

Tabela 6 - Valores de oxigênio dissolvido nas águas superficiais, determinados em 2001.

Estação	Superfície	
	Chuvoso	Estiagem
	OD (mg/L)	OD (mg/L)
M5	5,90	8,30
MP	5,60	6,90
MJV	5,90	7,20
C1	4,80	3,80
C2	4,70	5,00
MR	5,10	6,30
MBB	4,70	4,20
M1	5,80	6,00
JT	8,22	3,15

Tabela 7 - Valores de oxigênio dissolvido nas águas de fundo determinados em 2001.

Estação	Fundo	
	Chuvoso	Estiagem
	OD (mg/L)	OD (mg/L)
M5	sd	sd
MP	0,30	0,70
MJV	1,50	3,80
C1	4,50	0,10
C2	3,90	3,80
MR	0,20	0,20
MBB	3,50	3,80
M1	4,40	0,70
JT	sd	sd

sd – sem dados

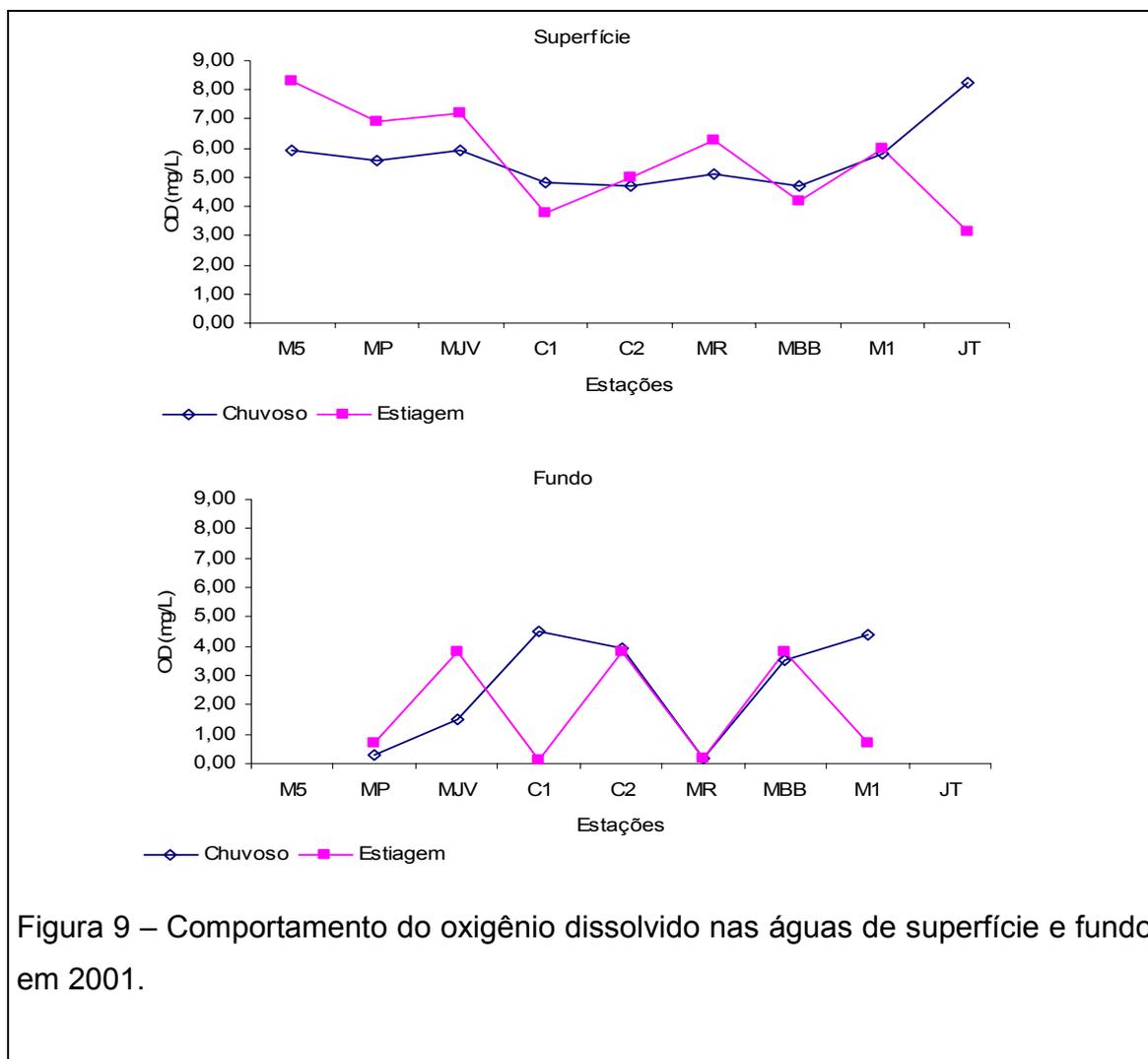


Figura 9 – Comportamento do oxigênio dissolvido nas águas de superfície e fundo em 2001.

4.2.4 – Micronutrientes

a – Ferro total

O estudo deste elemento é comum em rios, lagos e reservatórios, pois constitui-se em um micronutriente essencial para a manutenção da vida no meio aquático.

O ferro é um metal que se oxida rapidamente quando em contato com ar úmido ou com água que contenha oxigênio dissolvido, ficando então na forma de férrico (Fe^{3+}), muito pouco solúvel (Baumgartem, 2001). Em regiões onde há grande decomposição de rochas, a conseqüente diminuição de oxigênio pode resultar na transformação de ferro férrico para o estado ferroso (Fe^{2+}) (Margalef, 1983).

Para Livingstone⁵ *apud*. Evangelista (1993), a concentração média de ferro dissolvido nas águas dos rios é de 0,67 mg/L, o que para Förstner & Wittmann (1983) é um valor muito alto e não corresponde a realidade. Grande parte do Ferro não estaria realmente em solução verdadeira, e sim na forma coloidal.

Em 2001 as águas superficiais da estação M5 apresentaram uma concentração de ferro total de 1,43 e 0,30 mg/L nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente, o que indica uma influência da sazonalidade. Este fato pode estar associado a maior carga de sedimentos em suspensão transportada pelo rio Tocantins. Evangelista (1993), teve a mesma constatação ao registrar um valor de 2,0 mg/L no período chuvoso e 0,96 mg/L na estiagem, o que de certa forma demonstrar uma redução dos teores de ferro total em função da sazonalidade.

Ramos & Corrêa (dados não publicados), obtiveram valores de ferro total variando entre 0,07 e 0,29 mg/L nas águas do rio Xingu, em Altamira-Pa.

Em 1996 os rios Arapepó e Guamá apresentaram valores de 0,33 e 3,2 mg/L de ferro total, respectivamente (Menezes, 1999)

Nas águas superficiais do interior do reservatório as concentrações de ferro total variaram entre 0,22 e 0,94 mg/L, no período de chuvas (Tabela 8). Na estiagem essa variação ficou em um intervalo entre 0,11 e 0,63 mg/L, retratando uma leve influência da sazonalidade. Esse comportamento pode estar relacionado a uma maior oferta de

⁵ LIVINGSTONE, *op cit.*

oxigênio na estiagem, como ficou constatado anteriormente, o que prejudica as condições de solubilização do ferro.

No hipolímnio os valores de ferro total dentro do reservatório, tiveram aumentos consideráveis, comparados com as águas do epilímnio (Tabela 9), assumindo valores máximos de até 3,9 mg/L, contudo, esses valores ainda são menores do que os encontrados por Evangelista (1993), na mesma zona que foi de 8,51 mg/L. Nesta zona é possível notar que as maiores concentrações de ferro total são registradas no período de estiagem (Figura 11).

Certamente, a maior parte do ferro presente nas águas do fundo do reservatório estratificado, encontra-se na forma de Fe^{2+} e/ou complexos orgânicos ferrosos, pois neste ambiente estão estabelecidas condições anóxicas.

No compartimento Caraipé em 2001, não aconteceu uma elevação dos valores de ferro total com relação à profundidade em nenhum dos períodos, diferente do que aconteceu na estiagem de 1991, quando Evangelista *op cit.*, encontrou uma variação entre 0,13 e 2,14 mg/L comparando as águas de superfície e fundo, respectivamente.

À jusante do reservatório (JT) os valores de ferro total são mais elevados no período de chuva, assim como aconteceu na montante (M5), pode-se dizer ainda que neste local houve uma maior oferta deste elemento quando comparado com o interior do reservatório, nas águas de superfície (Figura 10).

b – Fósforo total (P_{total})

O fósforo é um elemento químico essencial à vida aquática e ao crescimento de microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, e, na forma de fosfatos dissolvidos é um importante nutriente para produtores primários.

Segundo Esteves (1988), em águas naturais o fósforo se apresenta em forma de fosfato, tanto na forma iônica, como complexada.

O fosfato presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem de fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de fosfato para os ecossistemas aquáticos continentais. Outros fatores naturais que permitem o aporte de fosfato são: material particulado

presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone.

Em lagos tropicais, as altas temperaturas aumentam o metabolismo dos organismos, fazendo com que o fosfato seja rapidamente assimilado e incorporado a sua biomassa.

Os valores de fósforo total na estação M5 em 2001 foram de 103,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 6,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente. O que revela uma grande influência do período sazonal neste trecho do rio Tocantins. Valores elevados de fósforo total neste trecho do rio Tocantins, durante o período chuvoso, podem ser devido ao carreamento deste elemento, por ação das águas de escoamento superficial.

Evangelista (1993) registrou valores elevados também no período chuvoso de 1991 (85 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Na estiagem de 1990, a concentração foi de 42 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Nas águas superficiais do interior do reservatório as concentrações de fósforo total variaram entre 5,7 e 27,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$, durante o período chuvoso, enquanto que na estiagem essa variação ficou entre 2,1 e 7,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 8), tais valores demonstram que, assim como no trecho do rio Tocantins, no reservatório também há uma influência da sazonalidade, porém em menores proporções.

No lago da represa de Samuel foram registrados valores mínimos e máximos de fósforo total de 16,93 - 61,98 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período de chuvas, respectivamente e 5,78 - 17,50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na estiagem, em 1993 (Figueiredo et al., 1994).

De maneira geral, verifica-se um aumento nas concentrações de fósforo total com o aumento da profundidade, estabelecendo-se uma estratificação no interior do reservatório, fato que é observado no dois períodos sazonais investigados neste trabalho (Figuras 10 e 11).

As estações que apresentaram maiores concentrações deste elemento no hipolímnio do interior do reservatório, foram MP (98,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e MR (60,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$) (Tabela 9), registrados no período de maior precipitação pluviométrica do ano de 2001.

No compartimento Caraipé, pode-se dizer, que não ocorreu uma estratificação tão intensa como no Corpo Central, quando se analisam as estações C1 e C2, tanto no período de chuvas como de estiagem. A variação mais notável ocorrida na coluna d'água, neste compartimento, aconteceu na estação C1 que no período de estiagem

registrou uma variação de 2,13 e 49,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$ nas águas do epilímnio e hipolímnio, respectivamente (Figuras 10 e 11).

À jusante do reservatório os valores obtidos foram de 22,73 e 4,54 $\mu\text{g.L}^{-1}$ nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

c – Amônia (NH_3)

A amônia juntamente com o nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico faz parte do ciclo do nitrogênio na água. É um gás incolor, de odor característico, muito solúvel em água com pH ácido. Ocorre naturalmente nos corpos de água, cuja origem é a degradação de compostos orgânicos nitrogenados, matéria inorgânica do solo e água, excreção de organismos e redução do gás nitrogênio. É a forma mais tóxica de nitrogênio (Campbell, 1973).

Nos ecossistemas aquáticos parte da amônia reage com a própria água e com o CO_2 para formar as espécies NH_4^+ e NH_4OH (Hem, 1970).

A amônia encontra-se geralmente em baixas concentrações na zona eufótica, onde o oxigênio é abundante e os processos produtivos são mais intensos.

Em concentrações extremas de amônia (0,2 a 2,0 mg/L) os peixes apresentam convulsões, coma e morte. Em concentrações moderadamente altas, mesmo próximas aos limites aceitáveis, os peixes apresentam redução do crescimento, insucesso na reprodução, redução no desenvolvimento morfológico e injúrias nas guelras, fígado e rins.

Durante o ano de 2001 as concentrações de amônia determinadas na estação M5, foram de 27,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso e 19,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na estiagem, valores que apresentam uma pequena variação sazonal. É importante ressaltar que as concentrações obtidas em 2001, revelam uma elevação dos níveis de amônia no rio Tocantins, quando comparados com os resultados de Evangelista, *op cit.*, segundo este, as concentrações de amônia na estiagem de 1990 e no período chuvoso de 1991, foram sempre inferiores a 12 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Entretanto, estes valores estão de acordo com os que foram obtidos por Ramos & Corrêa (dados não publicados) nas águas do rio Xingu, que na ocasião variou entre 9 e 37 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

No interior do reservatório os teores de amônia registrados nas águas superficiais variaram entre 16,3 e 71,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$, durante o período de chuvas. Na estiagem essa variação foi entre 15,2 e 72,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 8).

As estações localizadas às margens do corpo central do reservatório (MP, MJV e MR), apresentaram uma estratificação química nos dois períodos investigados (chuvoso e estiagem), sendo que os valores mais críticos foram encontrados em MR, que apresentou uma variação na coluna d' água de 40,43 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (superfície) e 279,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fundo) durante o período chuvoso. Na estiagem esses valores foram de 20,69 e 704,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Figuras 10 e 11).

No compartimento Caraipé, o valor mais crítico de amônia em 2001 aconteceu na estação C1 durante o período chuvoso, onde o hipolímnio apresentou uma concentração de 537,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Os valores elevados de amônia nas águas de fundo do reservatório, são de certa forma, esperados, pois nestes predominam águas anóxicas, onde ocorre uma liberação desse nutriente a partir dos sedimentos do fundo e da fitomassa afogada. Essa liberação ocorre pela ação de bactérias anaeróbias em compostos nitrogenados (Menezes, 1999 ; Esteves, 1988).

Teoricamente a amônia está menos presente em águas de superfície, do que o nitrato, porém neste estudo aconteceu um fato curioso. A NH_3 registrou valores mais elevados nas águas superficiais do que o nitrato, tanto no lago, quanto do rio Tocantins (M5 e JT) (Tabela 8). Este fato pode estar relacionado à uma constante entrada deste elemento no sistema em velocidade maior do que a velocidade de estabilização (processos de oxidação que formam os nitratos).

d – Nitrato (NO_3^-)

É a forma oxidada mais estável do nitrogênio em solução aquosa, sendo um importante nutriente dissolvido para os produtores primários.

É regenerado por via bacteriana (nitrificação ou oxidação total do amônio) a partir do nitrogênio orgânico, que pela decomposição da matéria orgânica se transforma em nitrogênio amoniacal (amonificação) (Baumgarten, 2001).

Os nitratos, normalmente encontrados na água são oriundos de fontes naturais que incluem as rochas ígneas, drenagem da terra e decomposição de plantas e tecidos animais.

Concentrações acima de 0,2 mg/L de NO_3^- , desencadeiam o processo de proliferação de plantas. Em lagos, essa proliferação afeta o nível de oxigênio dissolvido, temperatura e passagem de luz, produção de endo e exo-toxinas acumuladas nos tecidos de moluscos (Baumgartem, 2001).

As águas do rio Tocantins na entrada do reservatório (M5) apresentaram níveis de nitrato muito baixos durante o desenvolvimento deste estudo. O valor obtido no período chuvoso foi de $5,6 \mu\text{g.L}^{-1}$ e na estiagem foi de $1,9 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Segundo Meybeck (1982), as concentrações de nitrato em rios não poluídos variam entre 16 e $240 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Lopes *et al.*, (1983) encontraram valores de nitrato em águas amazônicas variando entre 0 e 1,9 mg/L. Nas águas do rio Xingu, Ramos & Corrêa (dados não publicados), encontraram níveis de nitrato que variaram entre 0,06 e 0,14 mg/L.

As concentrações de nitrato contidas neste trabalho foram um pouco reduzidas no período de estiagem, porém foi possível fazer uma análise do seu comportamento no período de chuvas.

Nas águas superficiais do reservatório as concentrações de nitrato variaram entre 0,2 e $21,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período de chuvas, enquanto que na estiagem o intervalo ficou entre 1,75 e $37,61 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 9). No hipolímnio esses valores foram de 0,5 e $239,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso.

As estações C1, MR, MBB e M1 apresentaram uma estratificação nos níveis de nitrato durante o período chuvoso de 2001, com valores elevados nas águas de fundo. Este fato pode ser devido a ocorrência de intensos processos de oxidação nestas zonas, pois o nitrato é a forma mais oxidada no ciclo do nitrogênio (Menezes, 1999).

Os níveis de nitrato foram maiores na estação JT, que representa as águas que saem do reservatório, do que no interior do reservatório.

De maneira geral, em 2001, o nitrato não apresentou uma concentração correlacionada com o período sazonal nos ambientes estudados (rio Tocantins, Corpo Central e compartimento Caraipé).

Tabela 8 - Valores dos micronutrientes nas águas superficiais determinados em 2001.

Estação	Superfície							
	Período chuvoso				Período de estiagem			
	Fe total (mg/L)	Ptotal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Amônia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Fe total (mg/L)	Ptotal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Amônia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
M5	1,40	103,10	27,30	5,60	0,30	6,60	19,60	sd
MP	0,90	27,90	71,10	0,20	0,20	7,30	27,30	sd
MJV	0,90	24,50	18,50	1,80	0,60	sd	15,20	sd
C1	0,20	21,40	16,30	21,20	0,30	2,10	54,70	sd
C2	0,60	15,50	45,90	11,30	0,10	3,20	22,90	sd
MR	0,40	26,20	40,40	10,20	0,10	5,60	20,70	sd
MBB	0,30	17,60	22,90	21,20	0,20	7,30	72,20	13,80
M1	0,70	5,70	33,90	13,60	0,10	3,90	34,90	12,80
JT	0,91	22,73	25,08	21,75	0,60	4,54	29,47	29,92

sd – sem dados

Tabela 9 - Valores dos micronutrientes nas águas de fundo determinados em 2001.

Estação	Fundo							
	Período chuvoso				Período de estiagem			
	Fe total (mg/L)	Ptotal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Amônia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Fe total (mg/L)	Ptotal ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Amônia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
M5	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
MP	3,40	98,30	309,20	sd	1,20	11,40	35,10	sd
MJV	2,20	19,60	82,10	0,50	1,10		84,30	sd
C1	0,30	16,60	11,90	39,40	3,70	49,20	537,30	8,00
C2	0,40	10,40	27,30	10,00	0,10	3,90	18,50	sd
MR	3,90	60,20	279,50	239,10	3,70	53,60	704,00	4,60
MBB	0,20	25,50	18,50	43,00	0,10	11,40	29,50	19,10
M1	0,80	26,50	29,50	30,80	3,60	36,50	628,30	21,10
JT	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd

sd – sem dados

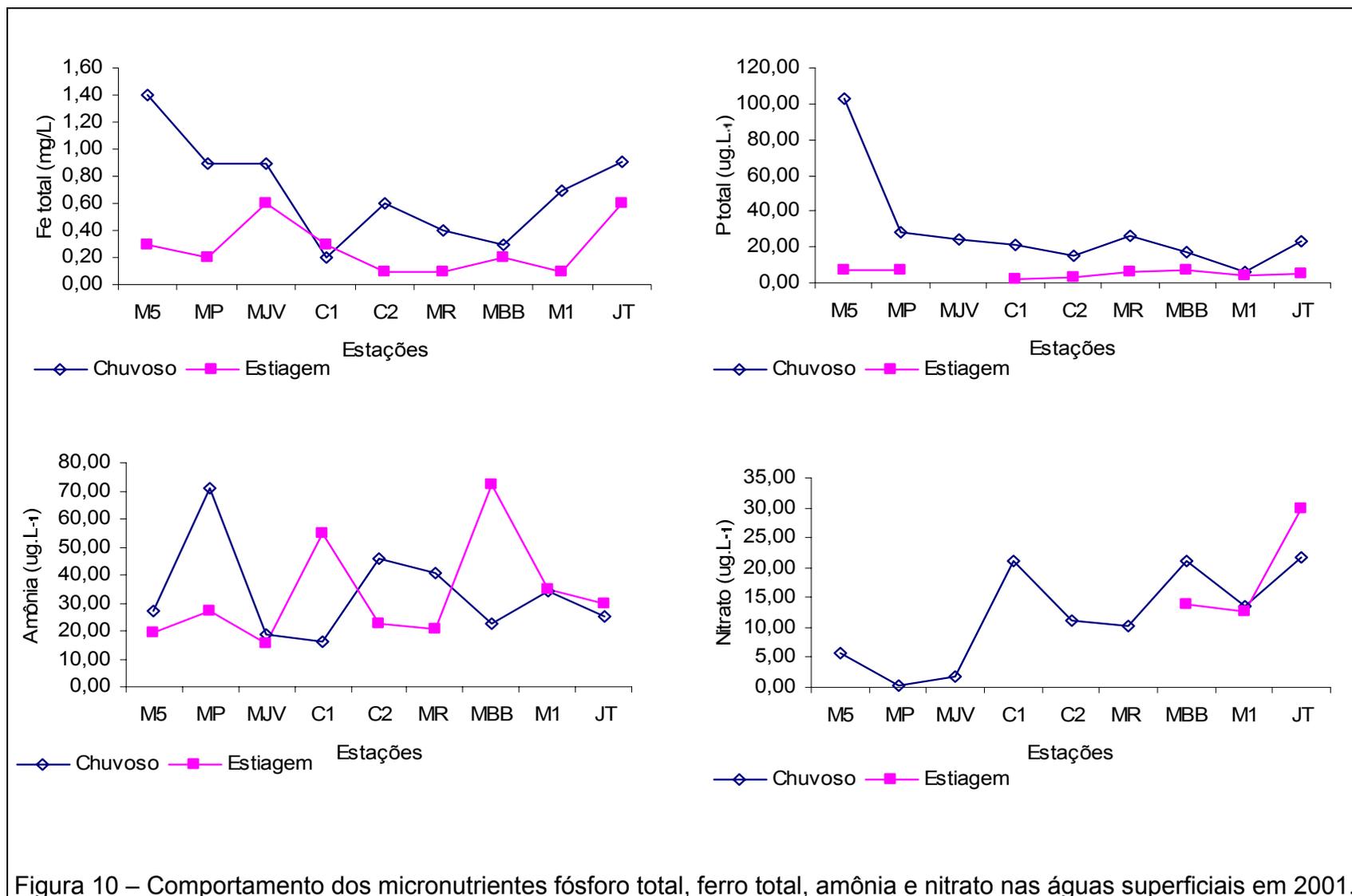


Figura 10 – Comportamento dos micronutrientes fósforo total, ferro total, amônia e nitrato nas águas superficiais em 2001.

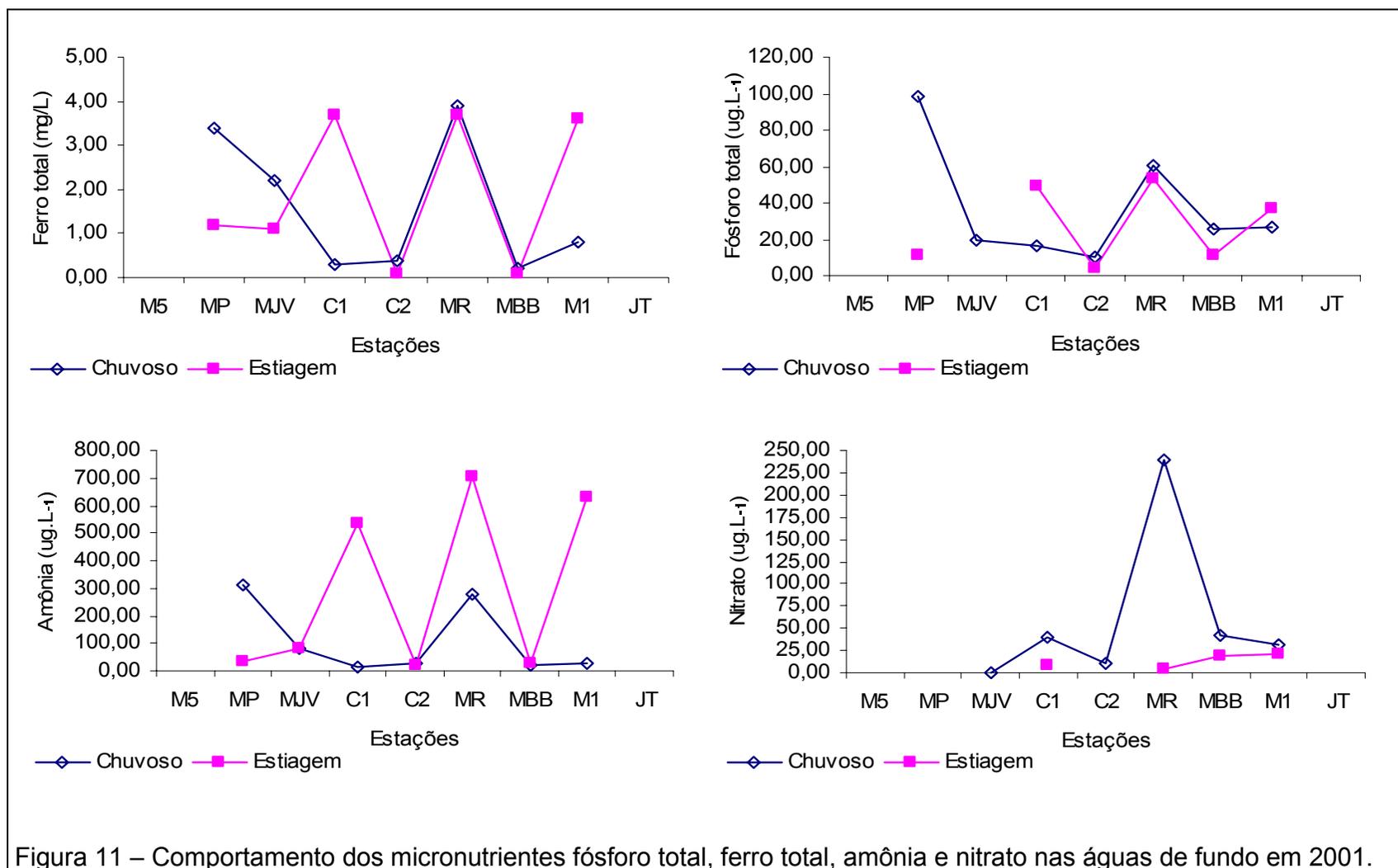


Figura 11 – Comportamento dos micronutrientes fósforo total, ferro total, amônia e nitrato nas águas de fundo em 2001.

4.2.5 – Análise temporal

A análise temporal foi feita com os valores absolutos das variáveis; sólidos totais em suspensão, pH, oxigênio dissolvido, gás carbônico livre, amônia e fósforo total, sendo estudadas com relação a sazonalidade, no período de 1986 a 2001 com dados cedidos pela Eletronorte. As estações escolhidas para este estudo foram M5, M3, MR, C1, M1 e JT. Tal estudo assume grande relevância em virtude da quantidade de dados tratados, podendo gerar valores de referência para as variáveis aqui tratadas, quando forem realizados trabalhos desta natureza no lago de Tucuruí.

Os dados são tratados estatisticamente através de média e desvio padrão (Tabelas 10 e 11) para cada estação nos períodos de chuva e estiagem do intervalo citado acima.

Tabela 10 - Média e desvio padrão de STS, pH, OD, CO₂ livre, Amônia e Fósforo total no período chuvoso entre 1986 e 2001.

Estações	STS (mg/L)	pH	OD (mg/L)	CO ₂ livre (mg/L)	Amônia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
M5	19,83 ± 13,17	6,85 ± 0,26	6,46 ± 0,71	3,53 ± 1,38	13,51 ± 19,18	67,09 ± 46,53
M3	8,10 ± 4,23	6,86 ± 0,22	5,85 ± 0,50	4,73 ± 2,17	19,16 ± 10,80	31,72 ± 11,77
MR	2,07 ± 1,30	7,02 ± 0,34	6,13 ± 0,79	4,10 ± 2,46	11,62 ± 13,36	11,25 ± 5,12
C1	1,47 ± 0,70	7,01 ± 0,34	6,09 ± 0,77	3,95 ± 2,56	20,55 ± 32,36	9,58 ± 4,05
M1	3,41 ± 1,80	6,88 ± 0,24	5,78 ± 0,62	5,30 ± 3,36	13,45 ± 11,97	21,43 ± 6,30
JT	3,80 ± 1,72	6,86 ± 0,28	9,98 ± 0,82	4,45 ± 4,79	19,67 ± 31,13	23,40 ± 4,14

Tabela 11 - Média e desvio padrão de STS, pH, OD, CO₂ livre, Amônia e Fósforo total no período de estiagem entre 1986 e 2001.

Estações	STS (mg/L)	pH	OD (mg/L)	CO ₂ livre (mg/L)	Amônia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
M5	5,33 ± 3,31	7,44 ± 0,24	7,16 ± 0,49	2,42 ± 1,68	8,58 ± 9,72	14,57 ± 6,90
M3	1,41 ± 1,32	7,07 ± 0,17	5,92 ± 0,69	4,68 ± 2,14	14,92 ± 13,58	8,99 ± 2,98
MR	1,03 ± 0,68	7,1 ± 0,15	6,29 ± 0,65	3,68 ± 1,79	5,90 ± 6,78	9,31 ± 7,24
C1	1,35 ± 0,59	6,90 ± 0,20	5,72 ± 1,38	5,76 ± 2,79	14,49 ± 16,35	7,22 ± 3,88
M1	0,92 ± 0,89	7,07 ± 0,22	5,75 ± 0,49	4,28 ± 2,51	11,23 ± 11,87	6,62 ± 4,68
JT	1,70 ± 1,48	6,73 ± 0,15	4,26 ± 0,83	8,66 ± 3,43	73,13 ± 57,45	11,27 ± 7,52

O valor médio de STS observado na estação M5 no período chuvoso foi de 19,83 mg/L \pm 13,17, na estiagem essa média ficou em 5,33 mg/L \pm 3,31.

Nas estações localizadas no corpo central do reservatório as médias de STS no período chuvoso foram de 8,10 mg/L \pm 0,22, 2,07 mg/L \pm 0,34 e 3,41 mg/L \pm 1,80 em M3, MR e M1, respectivamente (Tabela 10), na estiagem esses valores foram de 1,41 mg/L \pm 0,17, 1,03 mg/L \pm 0,15 e 0,92 mg/L \pm 0,89 (Tabela 11).

No compartimento Caraipé a estação C1 apresentou valores médios de 1,47 mg/L \pm 0,70 e 1,35 mg/L \pm 0,59 nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

À jusante da barragem na estação JT a média obtida no período das chuvas foi de 3,80 mg/L \pm 1,72 e na estiagem de 1,70 mg/L \pm 1,48.

No corpo central do reservatório o maior valor médio encontrado, foi na estação M3 de 8,10 mg/L no período chuvoso, bem acima das demais (MR, M1) que apresentaram concentrações de 2,07 e 3,41 mg/L, respectivamente. Neste mesmo período sazonal o compartimento Caraipé representado pela estação C1, obteve uma média de 1,47 mg/L e o rio Tocantins à jusante da barragem (JT) 3,80 mg/L

Durante a estiagem a estação M5 com uma concentração média de 5,33 mg/L, apresentou maior carga de sólidos totais em suspensão do que as encontradas no interior do reservatório e rio Tocantins à jusante.

Na Figura 12, é possível visualizar que o período chuvoso teve grande influência sobre este parâmetro, pois foram registradas as maiores concentrações de STS, principalmente nas estações M5 e M3.

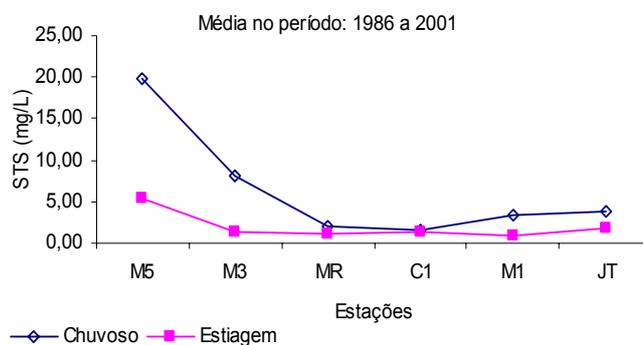


Figura 12 – Média dos valores de STS no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais.

Durante o período de 1986 a 2001, a maior concentração de STS encontrada no rio Tocantins à montante da barragem (M5), aconteceu em 1987 quando foi verificado 48,80 mg/L durante o período de chuvas.

No interior do reservatório a estação M3, foi a que apresentou valores maiores no decorrer dos anos, registrando 17 e 15,6 mg/L nos anos de 1994 e 1999, respectivamente, durante o período de chuvas.

À jusante da barragem, JT apresentou valor mais elevado durante a época chuvosa de 1990, registrando 7,5 mg/L.

Constata-se uma pequena redução nas estações C1, JT e M1 durante a época chuvosa analisada como ilustram as figuras 26, 27 e 28 em anexo.

A média dos valores de pH ao longo do período estudado na estação M5 foi de $6,85 \pm 0,26$, no período chuvoso. Na estiagem essa média foi de $7,44 \pm 0,24$.

Nas estações localizadas no corpo central do reservatório a média no período chuvoso foi de $6,86 \pm 0,22$, $7,02 \pm 0,34$ e $6,88 \pm 0,24$ em M3, MR e M1, respectivamente (Tabela 10), na estiagem esses valores foram de $7,07 \pm 0,17$, $7,1 \pm 0,15$ e $7,07 \pm 0,22$ (Tabela 11).

No compartimento Caraipé a estação C1 apresentou valores médios de $7,01 \pm 0,34$ e $6,90 \pm 0,20$ nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

À jusante da barragem na estação JT a média obtida no período das chuvas foi de $6,86 \pm 0,28$ e na estiagem de $6,73 \pm 0,15$.

Não é possível notar grandes diferenças nos valores médios de pH quando comparamos as estações localizadas no rio Tocantins (montante e jusante) e no interior do reservatório.

Com relação ao período sazonal as estações M5, M3, MR e M1, apresentaram um valor médio de pH em condições básicas no período de estiagem, enquanto que C1 e JT se apresentaram levemente ácidas (Figura 13).

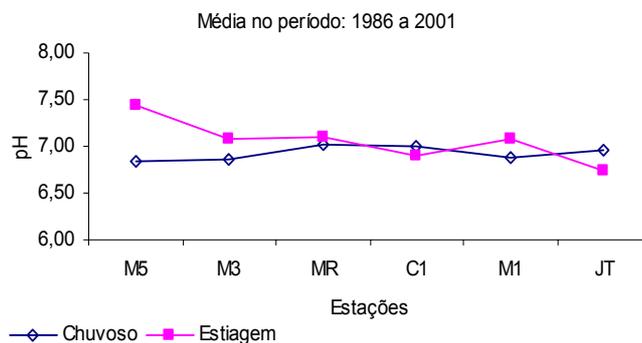


Figura 13 – Média dos valores de pH no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais.

A estação M5 apresentou nos anos de 1987 e 2000 uma diminuição do pH com valores de 6,3 considerados levemente ácidos, este fato aconteceu no período chuvoso dos anos citados. Um valor mais elevado deste parâmetro aconteceu em 2001 quando registrou-se 7,94 durante a estiagem (Figura 23 em anexo).

Assim como na estação M5, no interior do reservatório também nota-se uma diminuição dos valores de pH em 1987 em todas as estações durante o período de chuvas. Este fato foi registrado também em JT.

Não é possível verificar tendências de diminuição ou aumento nos valores de pH em nenhuma estação estudada, porém os mesmos se apresentam sempre próximos às condições de neutralidade ($\text{pH} = 7$) (Figuras 23-28 em anexo).

A média de oxigênio dissolvido encontrada ao longo do período estudado na estação M5 foi de $6,46 \text{ mg/L} \pm 0,71$, no período chuvoso. Na estiagem essa média foi de $7,16 \text{ mg/L} \pm 0,49$.

Nas estações localizadas no corpo central do reservatório a média no período chuvoso foi de $5,85 \text{ mg/L} \pm 0,50$, $6,13 \text{ mg/L} \pm 0,79$, $5,78 \text{ mg/L} \pm 0,62$ em M3, MR e M1, respectivamente (Tabela 10), na estiagem esses valores foram de $5,92 \text{ mg/L} \pm 0,69$, $6,29 \text{ mg/L} \pm 0,65$, $5,75 \text{ mg/L} \pm 0,49$, (Tabela 11).

No compartimento Caraipé (C1) os valores médios registrados foram de $6,09 \text{ mg/L} \pm 0,77$ e $5,72 \text{ mg/L} \pm 1,38$ nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

À jusante da barragem na estação JT a média obtida no período das chuvas foi de $9,98 \text{ mg/L} \pm 0,82$ e na estiagem de $4,26 \text{ mg/L} \pm 0,83$.

No período de chuvas o valor médio de oxigênio dissolvido registrado no rio Tocantins (M5) foi similar aos encontrados no interior do reservatório diferente da estiagem quando essa média foi superior.

À jusante JT apresentou uma média inferior (4,26 mg/L) na estiagem e superior na chuva (9,98 mg/L), quando comparamos esta ao interior do reservatório (Figura 14). O que representa a influência das águas turbinadas e aeradas (defluentes do reservatório), respectivamente.

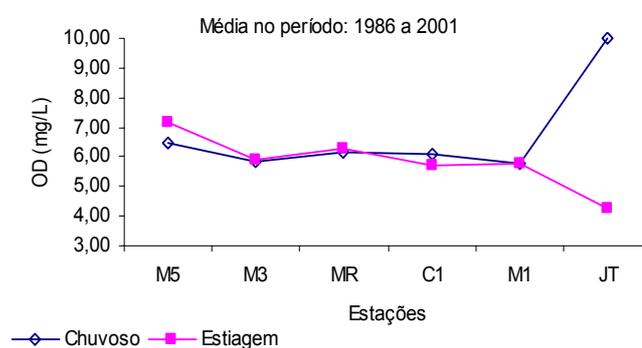


Figura 14 – Média dos valores de OD no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais.

No ambiente de estudo a diferença entre os valores médios de OD na chuva e na estiagem não foi tão expressiva com exceção da estação JT que apresentou 9,98 e 4,26 mg/L, respectivamente.

Analisando o comportamento dos valores absolutos ao longo dos 16 anos é possível notar grandes oscilações nas estações com o passar dos anos, tanto na época chuvosa como na estiagem, porém os valores de OD estão sempre oscilando em intervalos entre 5,0 e 8,0 mg/L, o que não apresenta nenhum risco à biota do ecossistema em questão, além de não apresentar de forma clara nenhuma tendência de diminuição das concentrações de OD.

A estação JT ao longo dos anos tem sempre apresentado valores baixos no período de estiagem, em 1989, 1995 e 2000 os níveis de oxigênio dissolvido neste local foram os menores já registrados (3,18, 3,43 e 3,51 mg/L, respectivamente) (Figura 28 em anexo).

Uma pequena tendência de queda do valor de OD foi verificada em M3 durante a estiagem, em 2001 o valor registrado foi de 4,91 mg/L, enquanto que em 1986 foi de 7,23 mg/L (Tabela 19 em anexo).

Em M5 o CO₂ livre apresentou uma média de 3,53 mg/L \pm 1,38 durante o período chuvoso e 2,42 mg/L \pm 1,68 na estiagem do período estudado.

Nas estações localizadas no corpo central do reservatório a média no período chuvoso foi de 4,73 mg/L \pm 2,17, 4,10 mg/L \pm 2,46 e 5,30 mg/L \pm 3,36 em M3, MR e M1, respectivamente (Tabela 10), na estiagem esses valores foram de 4,68 mg/L \pm 2,14, 3,68 mg/L \pm 1,79 e 4,28 mg/L \pm 2,21 (Tabela 11).

No compartimento Caraipé (C1) os valores médios registrados foram de 3,95 mg/L \pm 2,56 e 5,76 mg/L \pm 2,79 nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

À jusante da barragem na estação JT a média obtida no período das chuvas foi de 4,45 mg/L \pm 4,79 e na estiagem de 8,66 mg/L \pm 3,43.

O rio Tocantins (M5) apresentou um valor médio de CO₂ livre menor do que os encontrados no interior do reservatório (Corpo Central e compartimento Caraipé) nos dois períodos sazonais. À jusante, o rio Tocantins apresentou a mais elevada concentração de Co₂ livre dentre os ambientes estudados que foi de 8,66 mg/L na estiagem.

Com relação ao período sazonal a maior diferença se deu no rio Tocantins à jusante da barragem quando foi verificada uma concentração média de 4,45 mg/L no período de chuvas e 8,66 mg/L na estiagem. À montante, assim como no interior do reservatório não se observam grandes diferenças nas médias de CO₂ livre com relação ao período sazonal (Figura 15).

Os teores de gás carbônico livre não apresentam no ambiente de estudo, com o passar dos anos, uma tendência clara de elevação ou diminuição. Porém é importante ressaltar uma elevação das concentrações de CO₂ livre nos anos de 1991 e 1992, tanto no rio Tocantins (montante e jusante) como no interior do reservatório (Figuras 23-28 em anexo).

No período chuvoso de 2000 a estação JT registrou uma concentração de gás carbônico livre de 21,22 mg/L, valor este bem superior à media obtida naquele local que era de 4,45 mg/L para tal período sazonal (Tabela 10). Um fato similar aconteceu na

estação M1 que apresentou uma concentração de 16,73 mg/L na época chuvosa de 2001, enquanto que a média era de 5,3 mg/L (Tabela 10).

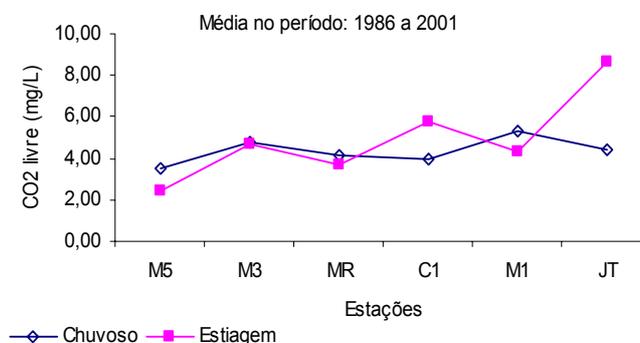


Figura 15 – Média dos valores de CO₂ livre no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais.

As concentrações médias de amônia em M5 foram de 13,51 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 19,18$ durante o período chuvoso e 8,58 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 9,72$ na estiagem do período estudado.

Nas estações localizadas no corpo central do reservatório a média no período chuvoso foi de 19,16 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 10,80$, 11,62 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 13,36$ e 13,45 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 11,97$ em M3, MR e M1, respectivamente (Tabela 10), na estiagem esses valores foram de 14,92 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 13,58$, 5,90 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 6,78$ e 11,23 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 11,87$ (Tabela 11).

No compartimento Caraipé (C1) os valores médios registrados foram de 20,55 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 32,36$ e 14,49 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 16,35$ nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

À jusante da barragem na estação JT a média obtida no período das chuvas foi de 19,67 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 31,13$ e na estiagem de 73,13 $\mu\text{g.L}^{-1} \pm 57,45$.

Não se percebe grandes diferenças nos teores médios de Amônia quando comparamos o rio Tocantins à montante e o interior do reservatório, onde as médias variam entre 11,62 e 20,55 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período de chuvas e 5,9 e 14,92 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na estiagem.

Dentre os ambientes estudados a estação JT apresentou um valor médio no período de estiagem extremamente elevado quando comparado com o rio Tocantins à montante e o interior do reservatório.

Com relação ao período sazonal este parâmetro apresentou os maiores valores médios durante o período de chuvas, tanto à montante do reservatório como no interior

do mesmo, o que de certa forma era esperado devido o maior aporte deste micronutriente na época das chuvas. Quando se trata da estação JT este fato se reverte, pois a mesma registrou $19,67 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $73,13 \mu\text{g.L}^{-1}$, nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente (Figura 16).

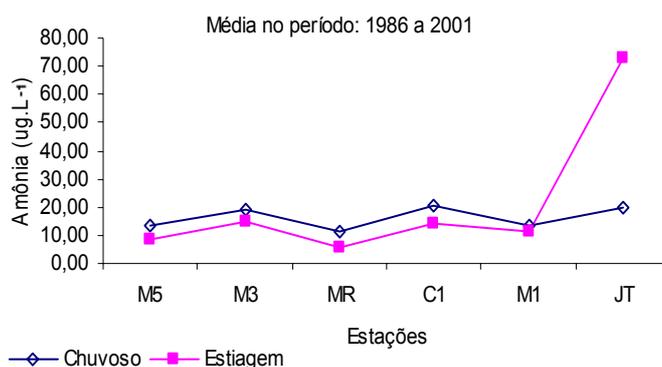


Figura 16 – Média dos valores de amônia no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais.

Na análise temporal realizada com os valores absolutos é possível notar uma redução dos valores de Amônia nas estações C1 e JT. Em C1 essa redução se deu a partir de 1988 quando houve um decréscimo de $102,57 \mu\text{g.L}^{-1}$ em 1987 para $24,51 \mu\text{g.L}^{-1}$ (período chuvoso), permanecendo nesta faixa até o ano de 2001. A estação JT logo após a formação do lago registrou uma concentração de $199,99 \mu\text{g.L}^{-1}$ durante a estiagem de 1986, a partir daí ocorre o decréscimo que em 1990 registra $51,55 \mu\text{g.L}^{-1}$ no mesmo período sazonal, entre 1990 e 2001 esta variável oscila entre $13,03$ e $74,04 \mu\text{g.L}^{-1}$. Um fato interessante, nesta estação, ocorreu em 2001 quando a concentração de Amônia registrou o valor mais elevado desde o enchimento do lago durante o período de chuvas ($124,89 \mu\text{g.L}^{-1}$) (Tabela 26 em anexo).

Os teores médios de fósforo total na estação M5 foram de $67,09 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 46,53$ durante o período chuvoso e $14,57 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 6,90$ na estiagem do período estudado.

Nas estações localizadas no corpo central do reservatório a média no período chuvoso foi de $31,72 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 11,77$, $11,25 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 5,12$ e $21,43 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 6,30$ em M3, MR e M1, respectivamente (Tabela 10), na estiagem esses valores foram de $8,99 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 2,98$, $9,31 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 7,24$ e $6,62 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 4,68$ (Tabela 11).

No compartimento Caraipé (C1) os valores médios registrados foram de $9,58 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 4,05$ e $7,22 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 3,88$ nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

À jusante da barragem na estação JT a média obtida no período das chuvas foi de $23,40 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 4,14$ e na estiagem de $11,27 \mu\text{g.L}^{-1} \pm 7,52$.

A estação M5 apresentou um valor médio de fósforo superior às outras estações investigadas nos dois períodos sazonais ($67,09$ no período chuvoso e $14,57$ na estiagem), sendo que a maior diferença se observa na época chuvosa.

É importante ressaltar que no período de chuvas as estações M3 e M1 registram as maiores médias dentro do reservatório. Este fato pode estar relacionado com a influência que o rio Tocantins tem sobre esta zona do lago. À jusante do reservatório JT se comporta de maneira similar às estações citadas acima, provavelmente devido à abertura dos vertedouros da barragem nesta época do ano.

Com relação ao período sazonal este parâmetro apresentou os maiores valores médios durante o período de chuvas, à montante, no interior e à jusante do reservatório (Figura 17).

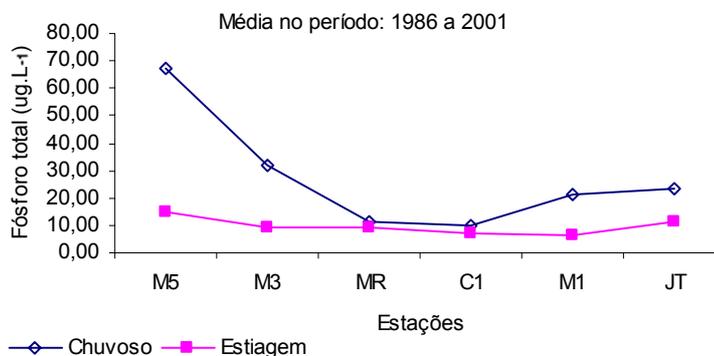


Figura 17 – Média dos valores de fósforo total no período de 1986 a 2001, nos dois períodos sazonais.

Na análise dos valores absolutos ao longo dos 16 anos estudados percebe-se uma maior concentração deste elemento no período chuvoso nas estações M5, M3, M1 e JT. Em MR e C1 não é possível notar grandes diferenças entre os períodos sazonais ao longo dos anos.

Na análise temporal é possível notar uma pequena redução dos valores de fósforo total no período de chuvas nas estações M1 e JT, na estiagem este fato se observa além das citadas, à C1.

Nenhum registro anômalo da concentração de fósforo total foi identificado no interior do reservatório. Neste ambiente o fato mais extremo ocorreu em M3 que apresentou um valor de $52,52 \mu\text{g.L}^{-1}$ durante o período chuvoso de 1999.

4.3 – O ESTADO TRÓFICO

A eutrofização tem se configurado em um dos problemas ambientais de águas continentais mais difundidos da atualidade; trata-se do enriquecimento do corpo d' água com dois tipos de nutrientes de plantas, o fósforo e o nitrogênio (IETC, 2001).

O processo de eutrofização é causado por vários fatores ecológicos e não somente pela adição de nitrogênio e fósforo, assim pode-se citar como fator deste fenômeno a própria estratificação do sistema que causa um acúmulo de nutrientes (Tundisi, 1976).

A escolha entre o nitrogênio e o fósforo total para o enquadramento em uma metodologia de avaliação do estado trófico de um sistema, depende do potencial de limitação destes elementos na produtividade primária (quantidade de matéria orgânica produzida no sistema). Geralmente, só um destes elementos limita a produtividade.

A produtividade primária de um corpo d' água é afetada diretamente por fatores de ordem física (radiação solar, temperatura, ventos, evaporação e precipitação), geomorfológica (natureza do solo, infiltração, região litorânea, morfologia), química (concentração de nutrientes) e biológica (taxa de reciclagem de nutrientes, estrutura da comunidade aquática) (Sperling, 1994).

O conceito de nutriente limitante é baseado no seguinte fato; o nutriente controlará o aumento da produção da biomassa. Assim, o primeiro nutriente a alcançar o seu valor mínimo, será considerado como fator limitante do sistema (Salas & Martino, 1991).

A maioria dos critérios de classificação do estado trófico foram desenvolvidos para sistemas temperados lacustres, cuja produtividade primária varia em função da disponibilidade de luz e é limitada pelo elemento fósforo.

Para avaliação do estado trófico de lagos e reservatórios tropicais torna-se necessária uma compreensão bastante clara da estrutura e função destes sistemas.

Segundo Sperling (1993), ambientes aquáticos de clima quente possuem a seguinte caracterização : a) o metabolismo dos organismos ocorre de uma forma mais acelerada, conduzindo a uma maior capacidade de assimilação de nutrientes; b) os picos de população de algas são menos numerosos em comparação com os ambientes aquáticos temperados, apresentando uma distribuição aproximadamente eqüitativa ao longo do ano; c) a elevada taxa de assimilação de nutrientes, associada à alta de reciclagem, provocam a ocorrência de um intenso grau de produtividade; d) observa-se o predomínio de baixas concentrações de nutrientes, o que leva ao enquadramento de muitos corpos d' água como oligotróficos, apesar da elevada produtividade; e) ocorrem com freqüência baixas densidades populacionais de fitoplâncton, associadas no entanto a elevadas taxas de crescimento; f) a decomposição de matéria orgânica é mais acelerada, porque implica em uma maior taxa de consumo de oxigênio dissolvido no hipolímnio; g) conseqüentemente não existe uma relação direta, como ocorre nos climas temperados, entre o déficit de oxigênio no hipolímnio e produtividade primária; h) em função da elevada taxa de decomposição da matéria orgânica na massa líquida, os sedimentos de lagos e represas tropicais são pobres em matéria orgânica, não existindo portanto uma vinculação entre seu teor no sedimento e a produtividade; i) em decorrência da maior temperatura da água ocorre uma menor viscosidade, conduzindo a uma maior taxa de sedimentação de organismos e de nutrientes em forma particulada (Sperling, 1992).

Em termos de eutrofização, o que mais interessa não é o teor de nutrientes na massa líquida, mas sim o seu potencial de gerar biomassa, pois é esta biomassa que ao entrar em decomposição, consome o OD na água, conduzindo à formação de condições redutoras indesejáveis sob o ponto de vista de aproveitamento do recurso hídrico.

A quantidade de biomassa produzida por unidade de nutriente depende da taxa de crescimento do fitoplâncton (Sommer, 1993).

Em lagos tropicais a produção de biomassa é prejudicada ainda, pela perda de população por sedimentação e predação (Sperling, 1994).

Tradicionalmente tem-se elegido três parâmetros básicos para a finalidade de classificação trófica : transparência, concentração de fósforo e concentração do

pigmento clorofila-a. Ficando claro à representação pela ordem, de influências de caráter físico, químico e biológico. No entanto, estes parâmetros apresentam limitações no seu uso, como por exemplo para os casos de lagos turvos e coloridos, onde a transparência não se relaciona com a produtividade, ou para aquelas situações onde o fósforo não é o nutriente limitante (Sperling, 1994).

É importante ressaltar ainda, que a classificação do estado trófico pode ser extremamente relativa, dependendo da variável ou variáveis usadas nesta classificação. Um exemplo deste fato aconteceu no lago Roosevelt, quando o mesmo foi caracterizado como oligotrófico usando dados de clorofila-a e eutrófico usando dados de fósforo total Lind *et all.*, (1993).

No ano de 1977 foi criado o índice de estado trófico que talvez seja o de maior divulgação. Trata-se do índice de CARLSON, baseado apenas em três parâmetros: fósforo total, clorofila-a e transparência, todos medidos no verão. Para a confecção do índice foi feita uma análise de regressão correlacionando os parâmetros, sendo que a definição do estado trófico era baseada na duplicação da biomassa algal. A utilização do índice é bastante simples, já que ele pode ser estimado a partir de qualquer uma das variáveis. Os resultados numéricos variam na escala de 0 a 100, com valores mais elevados indicando um grau de trofia mais forte (Carlson, 1977).

O índice do estado trófico de Carlson (IET) é calculado através das seguintes equações :

$$\text{IET (S)} = 10 [6 - (\ln S) / \ln 2]$$

$$\text{IET (PT)} = 10 [6 - (\ln (48 / \text{PT})) / \ln 2]$$

$$\text{IET (Cla)} = 10 [6 - (2,04 - 0,68 \ln \text{Cla}) / \ln 2]$$

onde;

S – transparência de Secchi em metros

PT – concentração de fósforo total na zona eufótica em $\mu\text{g.L}^{-1}$

Cla - concentração de clorofila-a na zona eufótica em $\mu\text{g.L}^{-1}$

O índice encontrado é o indicador numérico do estado trófico, cujas relações são exibidas no quadro abaixo:

Quadro 1: Relações entre o índice de estado trófico e o grau de trofia de um ambiente aquático.

IET	ESTADO TRÓFICO
< 20	Ultra-oligotrófico
21 – 40	Oligotrófico
41 – 50	Mesotrófico
51 – 60	Eutrófico
> 60	Hipereutrófico

Tal método vem sendo empregado constantemente na classificação do estado trófico do lago da UHE Tucuruí (CMB, 2000; Evangelista, 1993).

4.3.1 – O sistema em 2001

Neste trabalho foram calculados os IET's, para as variáveis Transparência, Clorofila-a e Fósforo total, com dados cedidos pela Eletronorte. Os resultados analíticos utilizados para o cálculo dos índices foram obtidos na zona eufótica.

Segundo Santos (2001), o índice de Carlson pode ser obtido também, através da média entre os IET's das três variáveis.

Foram escolhidas 9 estações para este estudo, distribuídas entre os compartimentos do reservatório (Tabela 12).

Tabela 12 - Valores dos índices calculados para cada variável, com a média entre as mesmas (2001).

Estação	Data	S m	Cla-a $\mu\text{g.L}^{-1}$	PT $\mu\text{g.L}^{-1}$	IET (S)	IET (Cla-a)	IET (PT)	IET Média
M5	03/01	0,60	8,73	103,06	67,37	51,79	71,07	63,41
	09/01	0,80	4,76	6,6	63,22	45,81	31,24	46,76
C1	03/01	3,20	1,90	21,36	43,22	36,76	48,27	42,75
	09/01	3,10	1,79	2,13	43,68	36,17	14,85	31,57
C2	02/01	2,50	5,47	15,52	46,78	47,18	43,64	45,87
	08/01	4,00	2,62	3,16	40,00	39,93	20,57	33,50
MP	02/01	1,20	11,66	27,88	57,37	54,64	52,13	54,71
	08/01	3,00	7,85	7,28	44,15	50,74	32,67	42,52
MBB	02/01	2,20	1,67	17,58	48,62	35,49	45,44	43,19
	08/01	4,40	2,14	7,28	38,62	37,93	32,67	36,41
MJV	04/01	0,90	7,14	24,45	61,52	49,81	50,22	53,85
	07/01	3,00	5,47	3,16	44,15	47,18	20,57	37,30
M3	03/01 sd	1,20 sd	4,05 Sd	35,09 sd	57,37 sd	44,22 sd	55,46 sd	52,35 sd
MR	03/01	2,50	4,28	26,16	46,78	44,76	51,20	47,58
	09/01	3,00	2,26	5,57	44,15	38,47	28,79	37,14
M1	02/01	1,60	6,19	17,24	53,22	48,40	45,16	48,93
	08/01	5,00	3,09	3,85	36,78	41,55	23,43	33,92

Legenda:

S: Transparência

Cla-a: Clorofila a

PT: Fósforo total

IET (S): Índice de estado trófico para a variável transparência

IET (Cla-a): Índice de estado trófico para a variável clorofila-a

IET (PT): Índice de estado trófico para a variável fósforo total

IET (M): Índice de estado trófico para a média entre os três índices anteriores.

sd – sem dados

O IET (S) apresentou maior valor na estação MJV, de 65,15, obtido no período chuvoso do ano, representando segundo a classificação do índice estudado, estado de hipereutrofia. As estações MP e M3, também apresentaram valores altos, sendo consideradas eutróficas, ambas com o índice 57,37.

O menor valor foi encontrado na estação M1 no período de estiagem 36,78 apresentando-se oligotrófica.

Com exceção da estação C1 (Caraipé), todas as outras têm uma redução do IET (S) no período de menor precipitação pluviométrica (Figura 18). Observa-se também, que os maiores índices de estado trófico para esta variável estão situados na parte mais próxima do rio Tocantins, como nos pontos MP, MJV e M3 que provavelmente sofrem maior influência da bacia Tocantins-Araguaia.

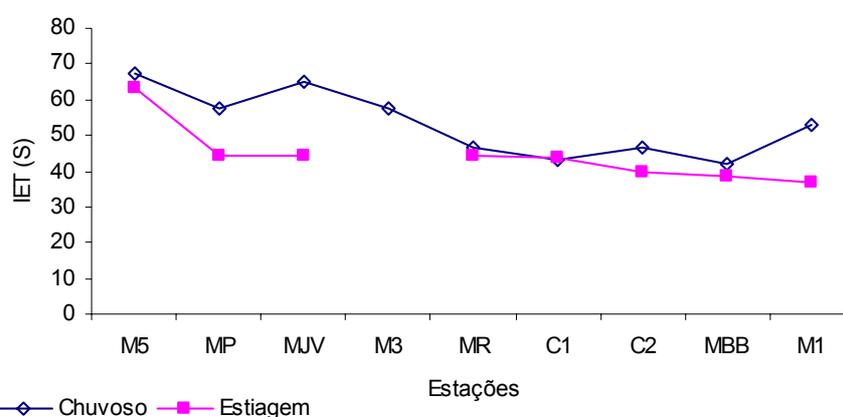


Figura 18 - Comportamento do IET (S) nas estações em 2001.

Segundo Evangelista (1993), a variável transparência, dentro do reservatório, costuma apresentar níveis pequenos em decorrência, principalmente, de altas concentrações de STS alóctones provenientes do rio Tocantins, portanto, não está relacionado com o material autóctone como fito-zooplânctons que representam a produção primária.

Para o IET (Cla-a), o maior índice de estado trófico foi observado na estação MP que fica localizada na margem esquerda do corpo central do reservatório, o índice 56,30 indicou estado eutrófico para o final do período de estiagem. O menor índice foi registrado na estação C1, que indicou estado oligotrófico com o valor 29,93, encontrado no final do período chuvoso. A estação C1 fica localizada no compartimento Caraipé.

Com relação a sazonalidade, somente as estações MJV e MBB não tiveram o IET (Cla-a) atenuado no período de estiagem, porém mesmo com o aumento no valor do índice, não ocorreu variação do estado trófico que permaneceu mesotrófico e oligotrófico, respectivamente (Figura 19).

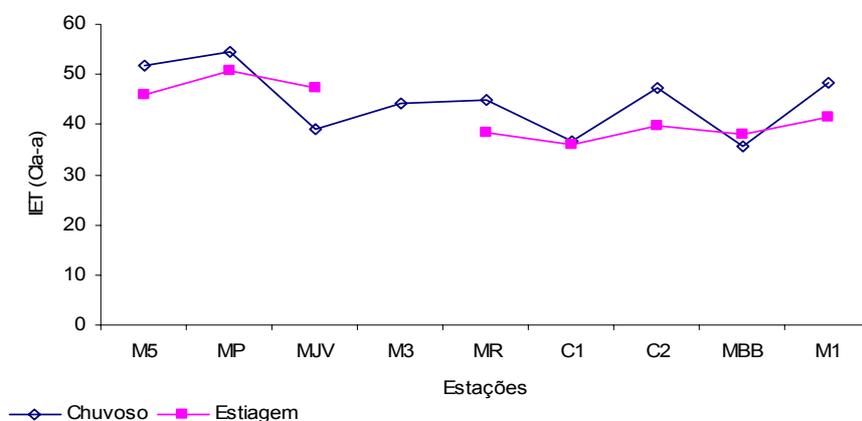


Figura 19 - Comportamento do IET (Cla-a) nas estações em 2001.

Para o estudo do IET (PT), chama-se atenção para as estações M5, MJV e M3 (rio Tocantins e corpo central do reservatório) que apresentaram em algumas amostragens estado de hipereutrofia.

O compartimento Caraipé apresentou índices de trofia pequenos em relação a variável fósforo total, no período de estiagem.

Pode-se dizer que o nutriente fósforo é o elemento mais influenciável no lago de Tucuruí por ação das chuvas, entre as variáveis estudadas na avaliação de estado trófico pelo método de Carlson. Haja vista, a grande diferença entre os índices das estações no período chuvoso, onde os valores são extremamente elevados em comparação com o período de estiagem (Figura 20).

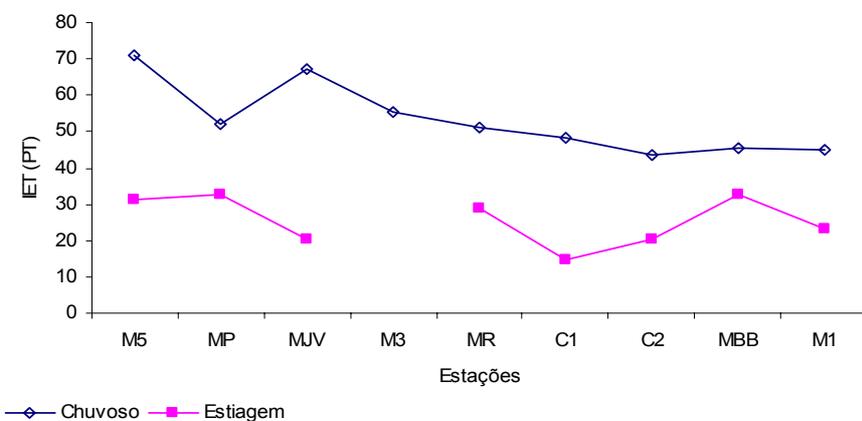


Figura 20 - Comportamento do IET (PT) nas estações em 2001.

É necessário ressaltar que pequenas variações nos valores numéricos dos índices, quase sempre, não representam mudança no estado trófico, as variações mais significativas ocorreram para o fósforo total.

Com relação ao estado trófico do lago no ano de 2001, podemos afirmar que em geral os três índices apresentaram flutuações do estado trófico relacionadas com o período sazonal. Com vista nas investigações podemos dizer que os maiores estados tróficos do sistema ocorrem no período chuvoso da região. O estado trófico variou ainda em alguns casos, em função da variável utilizada para cálculo.

As estações M5, MJ, M3 e MP apresentaram ao longo do ano uma maior ocorrência do estado eutrófico e até mesmo do estado hipereutrófico para o caso de M5, MJ e M3.

As estações C1 e C2 que representam o compartimento do Caraipé, apresentaram um estado oligotrófico para mesotrófico, nos períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente, assim como MR, M1 e MBB. Neste estudo foi possível verificar que as estações C1 e C2 apresentaram-se com menor níveis tróficos em comparação com o lago principal.

Tabela 13 - Estado trófico nas estações.

Ultra-oligotrófico
 Oligotrófico
 Mesotrófico
 Eutrófico
 Hipereutrófico
 sd – Sem dados

Estação	Data	IET (S)	IET (Cla-a)	IET (PT)	IET Média
M5	Mar-01				
	Set-01				
C1	Mar-01				
	Set-01				
C2	Fev-01				
	Ago-01				
MP	Fev-01				
	Ago-01				
MBB	Fev-01				
	Ago-01				
MJV	Mar-01				
	Jul-01				
M3	Mar-01				
	sd	sd	sd	sd	sd
MR	Mar-01				
	Set-01				
M1	Fev-01				
	Ago-01				

4.3.2 - Análise temporal

Para a análise temporal do estado trófico do lago foram escolhidas quatro estações distribuídas uniformemente no ambiente de estudo, para que se possa obter uma representação significativa do lago. Adotou-se apenas o fósforo total como variável de cálculo do índice de estado trófico.

O estudo foi feito abrangendo dois períodos anuais considerando a sazonalidade, sendo fevereiro/março para o período chuvoso e agosto/setembro para o período de estiagem, no intervalo entre 1986 e 2000 (Tabela 14).

As estações estudadas foram M5, que representa as águas que entram no reservatório e C1 que retrata o compartimento do Caraipé, além de M1 e M3 que estão localizadas no corpo central do reservatório.

No período chuvoso o rio Tocantins representado pela estação M5 não apresentou uma redução no índice de estado trófico ao longo do período investigado, pois em 1986, o mesmo apresentava-se em estado mesotrófico, assim como em 2000, porém é importante ressaltar que apesar disto, em 1988 percebe-se uma forte elevação no IET (PT) que aponta nível de hipereutrofia até o ano de 1996 (Figura 21). Na estiagem nota-se nesta estação, uma redução gradual do nível de eutrofização passando de mesotrófico em 1986 para oligotrófico em 2000.

Na estação C1, representante do compartimento Caraipé, houve uma redução do nível de eutrofização no intervalo estudado. Tal fato foi notado nos dois períodos sazonais com um comportamento muito similar entre estes, como mostra a (Figura 21).

Essa redução parece ter começado em 1992 quando se observa, tanto no período de chuvas como estiagem, a passagem do estado mesotrófico em 1986, 1988 e 1990, para oligotrófico em 1992 permanecendo assim até o ano de 2000.

Apesar de M3 e M1 estarem situadas no lago principal, assumem comportamentos diferentes durante o período estudado como mostra a (Figuras 21).

Durante o período chuvoso a estação M3 apresentou-se quase sempre com estado eutrófico, só passando para mesotrófico em 2000. Na estiagem apresentou apenas oscilações no valor numérico do índice de estado trófico, apresentado sempre estado oligotrófico.

Na estação M1 verificou-se uma atenuação dos níveis de eutrofização, sobre tudo no período de estiagem.

No período chuvoso de 1994 aconteceu a passagem do estado eutrófico para mesotrófico, permanecendo assim até 2000. Na estiagem houve a redução do estado trófico de mesotrófico para oligotrófico, chegando a se apresentar como ultra-oligotrófico em 1998 (Tabela 14).

De modo geral observou-se que os níveis de eutrofização são decrescentes ao longo dos anos, principalmente quando se analisam os períodos de estiagem em cada estação, na época chuvosa, algumas vezes, essa redução acontece somente no valor

numérico do índice, sem alterar o estado tráfico, que está relacionado a um intervalo de classificação (Quadro 1).

Tabela 14 - Índices de estado tráfico das estações M5, C1, M3 e M1 no intervalo de 1986 a 2000.

Data	Estações			
	M5	C1	M3	M1
	IET (PT)	IET (PT)	IET (PT)	IET (PT)
Mar/86	47,98	40,95	56,25	51,15
Set/86	48,53	44,44	38,70	43,74
Mar/88	80,35	37,45	56,11	52,49
Set/88	40,08	35,99	34,77	45,87
Mar/90	sd	40,08	49,54	40,08
Set/90	38,18	42,53	31,95	31,95
Fev/92	66,42	33,92	52,92	54,36
Set/92	43,84	33,67	21,89	28,94
Fev/94	66,73	27,73	57,51	49,21
Set/94	39,39	25,56	36,43	27,71
Mar/96	63,34	31,27	55,10	47,87
Set/96	43,91	27,76	34,07	20,10
Mar/98	58,19	30,57	58,06	47,68
Set/98	38,70	30,57	37,71	15,97
Mar/00	46,78	33,14	46,78	43,82
Set/00	35,18	27,84	33,98	24,66

sd – sem dados

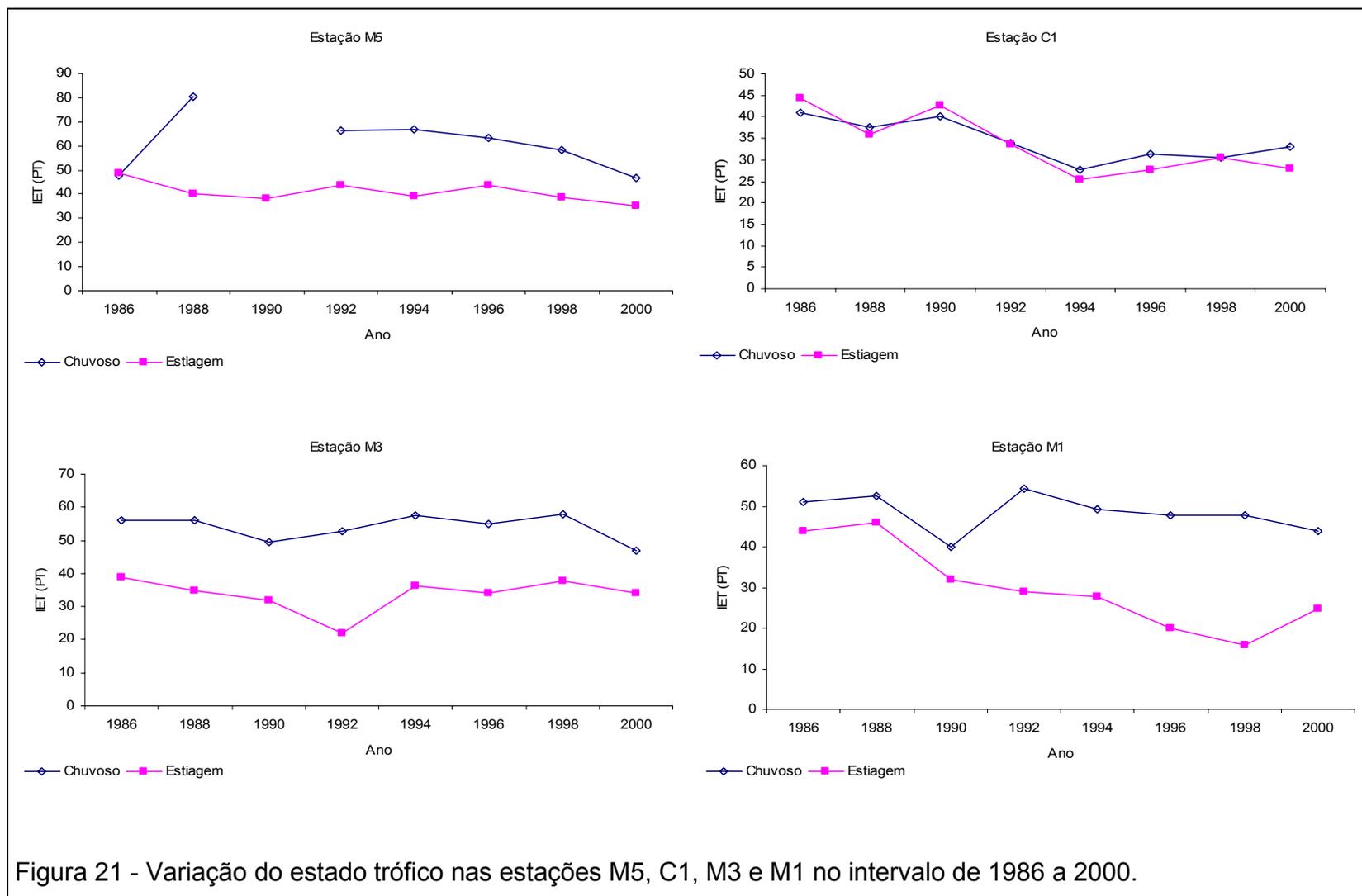


Figura 21 - Variação do estado trófico nas estações M5, C1, M3 e M1 no intervalo de 1986 a 2000.

4.3.3 - Comparação entre os IET's (PT) do reservatório e rio Tocantins (montante e jusante) nos anos 1996, 1998 e 2000.

Este sub-tópico surge na intenção de comparar os ambientes, rio Tocantins e reservatório, com relação aos níveis tróficos encontrados quando se estuda o Índice de estado trófico de Carlson para variável fósforo total. Para tal utilizou-se dados de 1996, 1998 e 2000, e as estações estudadas foram M5 (rio Tocantins à montante), M3, C1 e M1 (interior do reservatório) e JT, NP, IT, MJ e CM (rio Tocantins à jusante).

Tal estudo possui considerada relevância, à medida que se discute os impactos sócio-econômicos indiretos da UHE Tucuruí, pois alguns autores dizem que um empreendimento desta natureza pode, por exemplo, impedir a oferta de micronutrientes à jusante fazendo com que ocorra a diminuição da oferta de pescado prejudicando a população ribeirinha.

Na comparação feita entre os IET(PT) das estações analisadas constatou-se que os níveis tróficos foram maiores nas estações localizadas fora do reservatório tanto na montante (M5), como na jusante (NP, IT, MJ, CM) (Figura 22).

Durante o período chuvoso de 1996 a estação M5 se apresentou hipereutrófica, enquanto que C1 e M1 foram consideradas mesotróficas, à jusante as estações MJ e CM apresentaram-se eutróficas. Na estiagem as estações M5, NP, IT e MJ, localizadas no rio Tocantins foram classificadas como mesotróficas, enquanto que no reservatório, M3, C1 e M1 apresentaram-se oligotróficas (Figura 22).

Em 1998 a diferença é mais notável durante o período de estiagem quando a estação M1 foi classificada como ultra-oligotrófica, enquanto que M5 (montante), NP, IT, MJ e CM (jusante) são consideradas oligotróficas.

Em 2000 as estações IT, MJ e CM apresentaram um estado eutrófico, enquanto que M3 e M1 foram consideradas mesotróficas e ainda C1 registrou o nível oligotrófico, fatos ocorridos no período de chuvas. Na estiagem as estações localizadas no interior do reservatório estiveram sempre oligotróficas, enquanto que MJ e CM foram classificadas como mesotrófica e eutrófica, respectivamente (Figura 22).

Esses resultados mostram que a quantidade de fósforo presente no rio Tocantins é quase sempre superior a encontrada no interior do reservatório, principalmente no período de maior precipitação pluviométrica, o que pode levantar várias hipóteses a respeito do assunto, entre elas podemos citar;

- a bacia Tocantins-Araguaia atuando como fornecedor de fósforo sobretudo no período chuvoso pela ação de processos erosivos no solo em decorrência do escoamento superficial.
- retenção do fósforo no reservatório por fixação no substrato (sedimentos, solos afogados e etc.)
- maior requisição do fósforo no interior do reservatório por parte da ictifauna, fazendo com que o mesmo seja levado a pequenas concentrações.

Tabela 15 - Índices de estado trófico para variável fósforo total nos anos de 1996, 1998 e 2000.

IET (PT)									
Amostragem	M5	M3	C1	M1	JT	NP	IT	MJ	CM
Chuvoso/96	63,34	55,10	31,27	47,87	46,3	46,30	50,15	51,74	53,52
Estiagem/96	43,91	34,07	27,76	20,10	32,73	40,23	41,82	40,23	69,57
Chuvoso/98	58,19	58,06	30,57	47,68	51,1	27,82	47,15	45,75	40,06
Estiagem/98	38,70	37,71	30,57	15,97	27,82	34,27	38,21	37,71	39,17
Chuvoso/00	46,78	46,78	33,14	43,82	47,24	47,55	53,65	58,05	57,81
Estiagem/00	35,18	33,98	27,84	24,66	sd	39,22	33,14	47,82	50,74

sd – sem dados

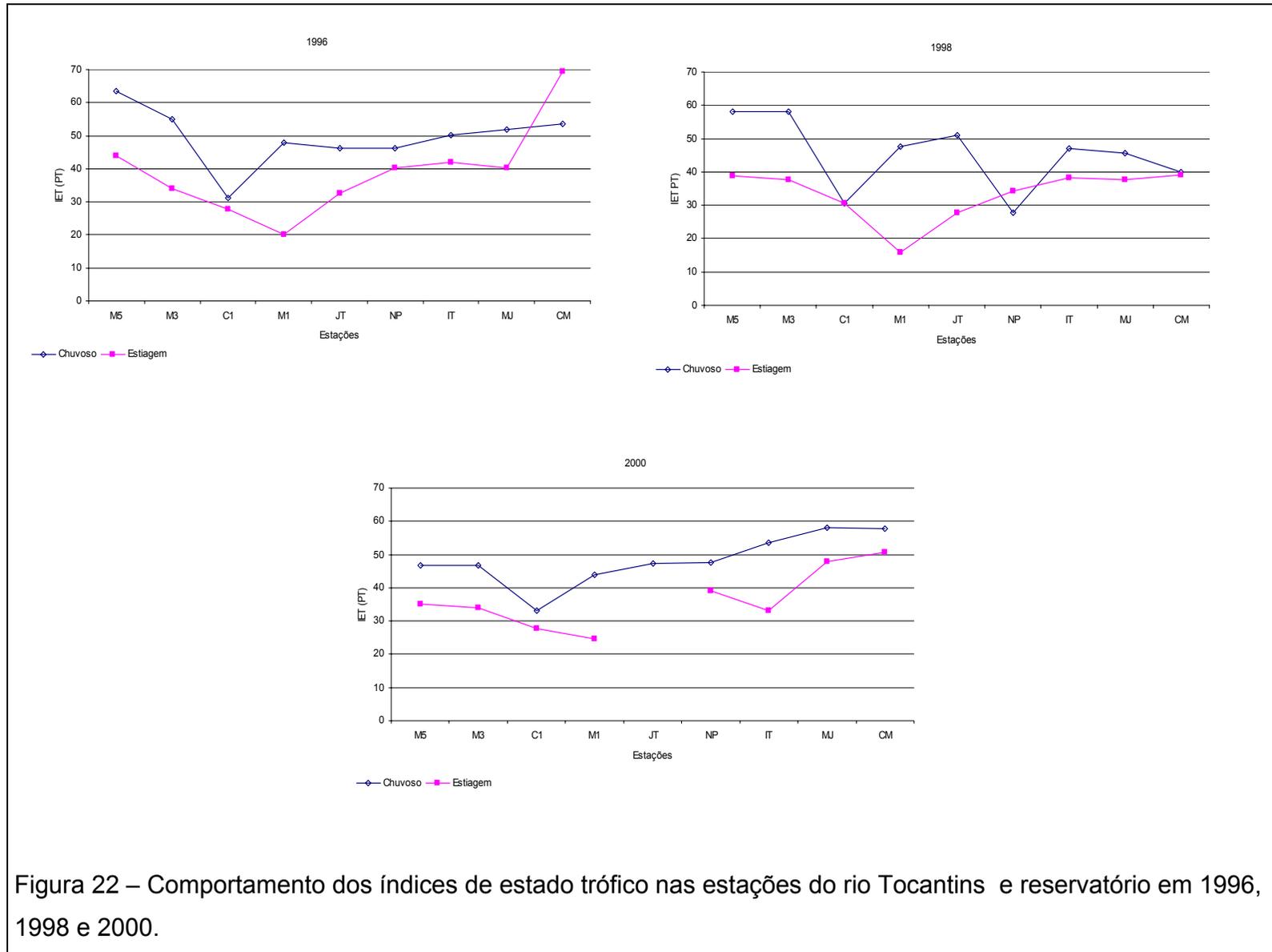


Figura 22 – Comportamento dos índices de estado tráfego nas estações do rio Tocantins e reservatório em 1996, 1998 e 2000.

5 – CONCLUSÕES

Nos parâmetros físicos temperatura, sólidos totais em suspensão e transparência foi possível observar uma clara influência da sazonalidade, onde a temperatura e a transparência registram valores mais elevados no período de estiagem, enquanto os sólidos totais em suspensão são maiores na época chuvosa. As estações localizadas próximo às margens do reservatório registraram maiores cargas de STS, por conseguinte menor transparência, quando comparadas com as localizadas na parte mais central, do interior do reservatório, onde escoam diretamente a água do rio Tocantins.

Os parâmetros físico-químicos pH e condutividade elétrica não apresentaram uma influência considerável da sazonalidade em 2001. O pH se apresentou sempre próximo à neutralidade ou levemente básico. A condutividade apresentou valores semelhantes aos encontrados em geral na região amazônica, situando-se entre 38,9 e 67,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso e entre 46,1 e 72,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na estiagem.

Os cátions e ânion analisados neste trabalho, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e HCO_3^- , não mostraram um comportamento atrelado à sazonalidade. De maneira geral, pode-se dizer que o Ca^{2+} é o cátion de maior predominância no ambiente de estudo, estando entre 3,84 e 4,9 mg/l no período de chuvas e 2,88 e 6,4 mg/l na estiagem.

Os gases dissolvidos, gás carbônico livre e oxigênio dissolvido, quando analisados nas zonas mais profundas do lago revelaram, tanto no período chuvoso como na estiagem, a presença de estratificação química, que dependendo do local da estação, se apresenta nos dois períodos sazonais. Os valores de OD mais elevados foram registrados no período de estiagem. Neste a estratificação é mais significativa, pois as massas d' água se encontram mais estacionárias. No período chuvoso ocorre desestratificação do corpo d' água, porém é importante ressaltar que em zonas marginais do lago isto não aconteceu em 2001; como nos pontos MP, MJV e MR. Durante o período de estiagem registraram em vários pontos do reservatório condições anóxicas no hipolímnio, porém no epilímnio os níveis de OD foram sempre benéficos ao corpo d' água, tanto no rio Tocantins (montante e jusante) como no interior do reservatório (corpo central e compartimento Caraipé), ficando entre 4,70 (C1) e 8,22 (JT) durante o período chuvoso, e entre 3,15 (JT) e 8,30 (M5) na estiagem. Entre os

ambientes estudados, os maiores teores de OD foram registrados no rio Tocantins e, em seguida, no corpo central do reservatório; o compartimento Caraipé foi o local menos oxigenado. Em 1991, Evangelista (1993) registrou uma constante estratificação no compartimento Caraipé, independentemente do período sazonal, o que não ocorreu em 2001.

Foram determinados ainda os micronutrientes ferro total, fósforo total, amônia e nitrato. Os valores de ferro total foram levemente superiores no período de chuva, quando ocorre maior dissolução das margens. Os maiores teores de ferro ocorrem no rio Tocantins em comparação com interior do reservatório. Os valores de ferro total, encontrados no hipolímnio do reservatório revelam uma elevação considerável na concentração deste elemento com o aumento da profundidade.

O fósforo total teve grande influência do período sazonal, sendo as concentrações no período de chuva bem superiores às da estiagem, com o fenômeno da estratificação acontecendo nos dois períodos sazonais. Os valores encontrados no interior do reservatório foram menores que os do rio Tocantins.

Os maiores valores de amônia foram registrados no interior do reservatório onde registraram picos de até $71,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ (MP) no período chuvoso e $72,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ (MBB) na estiagem. Dentre os micronutrientes estudados, a amônia revelou maiores concentrações no hipolímnio, onde foram determinados valores de $309,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ (MP) no período chuvoso e $704,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ na estiagem; isto se deve, provavelmente, à presença de águas anóxicas nesta zona, onde ocorre a liberação desse nutriente a partir dos sedimentos de fundo e da fitomassa afogada, pela ação de bactérias anaeróbias. Os valores de amônia registrados nas águas de superfícies foram superiores aos de nitrato, o que pode indicar uma constante entrada desta espécie química no sistema em velocidade maior do que a velocidade de estabilização (processos de oxidação que formam os nitratos).

Não foi possível fazer uma análise dos valores de nitrato quanto ao período sazonal. Os valores encontrados no ambiente de estudo estão bem distantes de indicar estado crítico, pois os maiores valores encontrados foram de $21,20 \mu\text{g.L}^{-1}$ no reservatório (C1 e MBB) e $21,75$ na estação JT. Segundo Meybeck (1982), para rios amazônicos não poluídos as concentrações de nitrato variam entre 16 e $240 \mu\text{g.L}^{-1}$. Nas

águas do hipolímnio os valores de nitrato são menores, pois nesta zona há menos oxigênio. Contudo é importante ressaltar que a estação MR, localizada no interior do reservatório, apresentou uma situação atípica registrando uma concentração de 239,10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no momento em que os valores de OD eram de 0,20 mg/L no período chuvoso de 2001.

No geral, pode-se dizer que o reservatório revelou condições hidroquímicas diferentes quando consideramos o interior do reservatório (corpo central e compartimento Caraipé), devido principalmente aos processos hidrodinâmicos como tempo de retenção hidráulica, que, segundo estudos da ELETRONORTE, foi constatado que nas porções marginais do reservatório esse tempo é 6 vezes maior do que na parte mais central do mesmo, fato que influencia também a estratificação química do reservatório. O rio Tocantins se apresenta como um notável fornecedor de micronutrientes, em especial o ferro e fósforo, que na maioria das vezes possui uma concentração maior do que as encontradas no interior do reservatório.

A estratificação química é um fenômeno presente no interior do reservatório em 2001, pois os valores de oxigênio dissolvido apresentaram um decréscimo quando comparadas as zonas epilimnéticas e hipolimnéticas; CO_2 livre, ferro total, fósforo total, amônia e nitrato apresentaram um comportamento contrário.

O fator sazonalidade aparece presente no ambiente de estudo, pois na maioria dos parâmetros analisados ocorre uma diferença bastante considerável dos valores, quando se comparam, os períodos de chuva e estiagem.

No estudo de análise temporal os dados estatísticos demonstram que as variáveis sólidos totais em suspensão, gás carbônico livre, amônia e fósforo total apresentaram uma grande variabilidade no decorrer dos anos, pois as mesmas mostraram valores elevados de desvio padrão. Oxigênio dissolvido e pH exibiram sempre valores constantes e por conseguinte um desvio padrão menor.

Ao longo do período estudado (1986 a 2001) não foi possível verificar nenhuma tendência de aumento ou diminuição nas concentrações das variáveis analisadas, porém de maneira pontual, dependendo do ambiente de estudo (rio Tocantins ou reservatório) e da variável analisada é possível perceber pequenas tendências, como, por exemplo, pode ser citado o pH que registrou um leve aumento dos seus valores

entre os anos de 1991 e 1993 nas estações MR, C1 e M1 (interior do reservatório), passando do estado levemente ácido para básico.

Para o estudo do estado trófico deste sistema, verifica-se que em 2001 os maiores níveis de eutrofização foram encontrados no período de maior precipitação pluviométrica, no primeiro semestre do ano. Em termos de comparação, foi possível verificar que no interior do reservatório encontram-se níveis tróficos menores do que os encontrados no rio Tocantins (montante e jusante). Considerando-se apenas o reservatório, observa-se que o compartimento Caraipé possui um nível de trofismo maior do que o corpo central. De maneira geral, em 2001, é possível classificar o ambiente de estudo como mesotrófico e oligotrófico nos períodos de chuva e estiagem, respectivamente.

A análise temporal mostrou uma redução dos níveis de eutrofização mais expressiva no período chuvoso de cada ano estudado.

Analisando os níveis de eutrofização das estações do rio Tocantins (montante e jusante) e do interior do reservatório (corpo central e compartimento Caraipé), podemos dizer que os níveis de eutrofização no reservatório, de maneira geral, são menores do que os verificados nas estações localizadas no rio Tocantins (M5 à montante e NP, IT, MJ e CM à jusante). Tais observações mostram que a quantidade de fósforo presente no rio Tocantins é quase sempre superior a encontrada no interior do reservatório, principalmente no período de maior precipitação pluviométrica, o que pode levantar várias hipóteses a respeito do assunto, entre elas podemos citar; a) a bacia Tocantins-Araguaia atuando como fornecedor de fósforo sobre tudo no período chuvoso, pela ação de processos erosivos no solo em decorrência do escoamento superficial; b) retenção do fósforo no reservatório por fixação no substrato (sedimentos, solos afogados e etc.); c) maior requisição do fósforo no interior do reservatório por parte da ictiofauna, fazendo com que o mesmo seja levado a pequenas concentrações.

De fato, o lago da UHE Tucuruí apresenta condições ambientais plausíveis frente ao complexo processo que ocorreu em sua formação, porém, um contínuo trabalho de gestão deste ambiente aquático somado ao uso racional da bacia hidrográfica de influência deve ser incentivado, afim de, dá prosseguimento à recuperação que o ecossistema em questão apresenta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMGARTEM, M.G.Z. 2001. *Qualidade das águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental*. Rio Grande: Ed.FURG, 166p.
- BOYD, C. 1979. *Water quality in warmwater fish ponds*. Opelika, Alabama: Agricultural Experiment Station, Auburn University, 359p.
- BRANCO. S. M. 1978. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. São Paulo, CETESB. 620p. 2ªed.
- BRANCO. S. M. 1986. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. São Paulo, Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 620p.
- BRAZ, V. M. N. 1985. *Estudo da qualidade da água de abastecimento da zona urbana de Belém (Pa), aplicação à problemática existente no bairro do Jurunas*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 167p. (Dissertação de Mestrado).
- CAMPBELL, J. Nitrogênio excretion. 1973. In: PROSSER, C.L. (ed.) *Comparative animal physiology*. Philadelphia: W. B. Saunders p. 279-316.
- CARLSON, R. A. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanog.* 22: 361-369.
- CARMOUZE, J. P. 1994. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudos e análises químicas*. São Paulo: Edgard Blücher: FAPESP, 254p.
- CETESB, 1978. *Análises físico-químicas de águas; normalização técnica, saneamento ambiental NT-07*. São Paulo. 320 p.

- CETESB, 1987. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo. 150p.
- CMB. 1999. *Relatório final da fase de escopo da UHE Tucuruí (Brasil)*. Disponível em: <http://www.dams.org>. Acesso em: 17/03/2002.
- CMB. 2000. *Estudo de caso Brasileiro, UHE Tucuruí, relatório final – Anexos*. Disponível em: <http://www.dams.org>. Acesso em: 28/06/2002.
- CUSTÓDIO. E. & LLAMAS, M. 1976. *Hidrologia subterrânea*. Barcelona, ed. Omega. V.1.
- DREVER, J. I. 1988. *The geochemistry of natural waters*. 2 ed. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 437p.
- ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG. 1987. *Relatório síntese dos estudos limnológicos na região da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (TUC-10-26514-RE)*. Brasília. 109p.
- ELETRONORTE & ENGEVIX-THEMAG. 1988. *UHE Tucuruí . Plano de Utilização do reservatório. Programa de qualidade da água. Relatório interpretativo das variáveis limnológicas (maio / 85 a abril / 88)*. Brasília . 44p.
- ESTEVES, F. A. 1988. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência. 575p.
- ESTEVES, F. A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 602p.
- EVANGELISTA, R.A.O. 1993. *Estudo Limnoquímico do Reservatório da Usina Hidrelétrica Tucuruí*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 199p. (Dissertação de Mestrado).

- FIGUEIREDO, A. ; FROELICH, S. ; MENEZES, C. F. ; MIYAI, R. 1994. *Limnologia de reservatórios na Amazônia*. 17p.
- FISCH, G.; JANUÁRIO, M.; SENNA, R.C. 1990. Impacto ecológico em Tucuruí (PA): climatologia. *Acta Amazônica*, 20 (único): 49 – 60.
- FORSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. 1983. *Metal pollution in the aquatic environment*. New York, Springer-Verlag. 486p.
- GOLTERMAN, H. L. ; CLYMO, R. S. ; OHNSTAD, M. A. M. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 231p.
- HEM, J. D. 1970. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. 2 ed. Washington D. C. United State. Departament of the interior. 363 p.
- INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTRE - IETC. 2001. *Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: qualidade da água: o impacto da eutrofização*. V. 3. 28p.
- INPA. 1984. *Plano de inventário e aproveitamento da fauna da região do reservatório da UHE Tucuruí*; relatório final. Manaus. 123p.
- INPA. 1987. *Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE Tucuruí*. relatório de avanço e acompanhamento semestral. Segmento: estudos meteorológicos; período janeiro-julho de 1987. Manaus. 30p.
- JANUÁRIO, M. & FISCH, G. F. 1992. Variação na qualidade óptica da água do sistema rio-reservatório da usina hidrelétrica de Tucuruí (PA). *Acta Amazônica*, 22 (2): 239-246.

- JUNK, W. J. ; ROBERTSON, B. A. ; DARWICH, A. J. ; VIEIRA, I. 1981. *Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-una, a primeira represa hidrelétrica na Amazônia Central.*
- LEVINSON, A. A. 1974. *Introduction to exploration geochemistry* . Maywood. Applied Publishing. 614p.
- LIND, T. O.; TERRELL, T. T. ; KIMMEL, B. L. 1993. *Problems in reservoir trophic-state classification and implications for reservoir management: Comparative reservoir limnology and water quality management.* 580p.
- LOPES, U. B. ; SANTOS, U. M. ; RIBEIRO, M. N. G. 1983. Limnologia química do lago do Arroz (ilha do Careiro), suas flutuações em função do meio hídrico do rio Amazonas. *Acta Amazônica*, 13 (2).
- LOUREIRO, V. R. 1990. Amazônia: história e perspectivas ; reflexões sobre a questão. *Pará Desenvolvimento*, 26: 3-24.
- MACKERETH, F. J. H. ; HERON, J. ; TALLING, J. F. 1978. *Water analysis some revised methods for limnologist.* Kendal, Titus Wilson and Son . 117p. (*Freshwater Biological Association Scientific Publications*, 36).
- MAGALHÃES, S. 1986/1987. Relocação de populações – a intervenção estatal numa operação fundiária específica. *Pará Desenvolvimento*, 20/21: 34-36.
- MARGALEF. R. 1983. *Limnologia*. Barcelona, Ed. Omega. 1010p.
- MATTA, M.A.S. 1982. *Evolução geológica da Região de Tucuruí-Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 109 p. (Dissertação de Mestrado).

- MATTA, M.A.S. & HASUI, Y. 1984. Modelamento estratigráfico da Região de Tucuruí-Pará. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 33., Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro , SBG. V.2, p. 821-831.
- MCNEELY, R. N. ; MEIMANIS, V. P. ; DWYER, L. 1979. *Water Quality Sourcebook - A guide to water quality parameters*. Ottawa, Inland Water Directorate, water quality branch. 77p.
- MENEZES, L. B. C. 1999. *Caracterização biogeoquímica de ecossistemas amazônicos: rios e lagos selecionados nas microregiões Bragantina, do Salgado e Guajarina (Pa)*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 169p. (Tese de Doutorado).
- MEYBECK. M. 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Amer. Journ. Sci.*, 282: 401-450.
- OLIVEIRA, A. E. 1983. Ocupação humana. In: SALATI, E. ; JUNK, W. J. ; SHUBART, H. O. R. ; OLIVEIRA, A. E. *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo, Brasiliense. p. 144-327.
- PAIVA, M. P. 1983. Impactos das grande represas sobre o meio ambiente. *Ciência e Cultura* , 35 (9): 1274-1282.
- PETRI, S. & FULFARO, V. J. 1965. Aspectos da sedimentação e estruturas sedimentares dos depósitos da represa Billings, SP. *Bol. Soc. Bras. Geol.*14 (1-2).
- RAMOS, J. F. F. & CORRÊIA, J. A. M. *Estudo de impacto ambiental da UHE Belo Monte*. Relatório parcial – meio físico. dados não publicados.

- RIBEIRO, H. M. C. 1992. *Avaliação atual da qualidade das águas dos lagos Bolonha e Água Preta, situados na área fisográfica do Utinga (Belém-Pa)*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 205p. (Dissertação de Mestrado).
- RODIER, J. 1981. *Analisis de las aguas*. Barcelona, Ed. Omega 1059p.
- ROSATELLI, J. S. ; VIERIRA, L. S. ; ARAUJO, J. V. ; ARAUJO, M.P. ; SOMMER, S. 1974. Solos da Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Brasil, DNPM. *Projeto RADAM*. Rio de Janeiro, p. 1-129.
- RYDER, R. A method for estimating the potential fish production of North temperate lakes. *Trans. Amer. Fish Soc.*, v.94, p. 214-218, 1965.
- SALAS, H.J. & MARTINO, P. 1991. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Wat. Res.* 25, (3): 341-350.
- SANTOS, A. 1983. *Limnologia do sistema Tocantins-Araguaia: Aspectos físicos e bioquímicos*. Departamento de ciências biológicas. UFScar. (Tese de Doutorado).
- SANTOS, A. 1986. As águas da região. In: ALMEIDA Jr., J. M. G. org. Carajás; desafio político, ecologia e desenvolvimento. Brasília, CNPq; Rio de Janeiro, *Brasiliense*. p. 156-183.
- SANTOS, K. P. 2001. Aplicação de modelo simplificado para avaliação do estado trófico no reservatório de Duas Unas, Pernambuco – Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. João Pessoa (Pb). *Anais*, ABES. 9p.

- SCHAFER, A. 1985. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre, Ed. da UFRGS. 532p.
- SILVA, O. S. 1988. O processo de ocupação da Amazônia e seu impacto sobre o meio ambiente; a questão indígena. *Pará Desenvolvimento*, 23: 10-12.
- SIOLI, H. 1953. Schistosomiasis and limnology in the Amazon Region. *Amer. J. Trop. Med. Hig.*, 4: 700-707.
- SIOLI, H. 1969. Ökologie in brasilianischen Amazonasgebiet. Arbeiten der Abteilung Tropen-Ökologia des MPI für Limnologie. *Naturwissenschaften*, 36: 248-255.
- SIOLI, H. 1984. *The Amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers. 763p.
- SOMMER, U. 1993. *The scientific basis of eutrophication management: reconciling basis physiology and empirical biomass models*. Stresa, Italy, Istituto Italiano di Idrobiologia, p. 6-9.
- SOUZA, H. B. & DERISIO, J. C. 1977. *Guia técnico de coleta de amostras de águas*. São Paulo, CETESB. 257p.
- SPERLING, E. V. 1992. Determination of the settling velocity of phosphorus in na aerated lake. *Water Sci. technol.* 26 (7-8): 1973-1979.
- SPERLING, E. V. 1993. *Nutrient assimilation capacity of lakes and reservoirs situated in tropical climates*. Environmental pollution. London, European Center for Pollution Research. p.340-344.
- SPERLING, E. V. 1994. Avaliação do estado trófico de lagos e reservatórios tropicais. *Revista BIO*, (3): 68-76.

- SPERLING, M. V. 1995. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias*. 2. ed. V.1 - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.
- STANDARD. 1976. *methods for the examination of water and wastewater*. Washington DC, APHA-AWWA-WPCF. 1193p.
- TROUW, R.A.L.; VAZ, L.P. ; SLONGO, T.T. ; NAKASATO, N. 1976. Geologia da Região de Tucuruí-Baixo Tocantins, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA . 29. *Anais* , Ouro Preto.
- TUNDISI, J. G. 1976. Estudos ecológicos preliminares em sistemas aquáticos em Aripuanã. *Acta Amazônica*. 9 (2) : 311-315.
- TUNDISI, J. G. 1986. Ambiente: represas e barragens. *Ciência Hoje*. 5 (27): 49-56.
- TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. 2000. *Gerenciamento da qualidade da água de represas v. 9: Diretrizes para o gerenciamento de lagos; v.1*. São carlos: ILEC; IIE.
- TUNDISI, J. G. & TUNDISI, T. M. 1976. Produção orgânica em ecossistemas aquáticos. *Ciência e Cultura*. 28 (8) : 864 - 887.
- TUNDISI, J. G.; STRASKRABA, M.; DUNCAN, A. 1993. Comparative reservoir limnology and quality management. *Kluwer Academic Publishers* : 864 - 887.
- VALVERDE, O. 1988. Conflitos e equilíbrio ecológico no povoamento em expansão da faixa próxima à estrada de ferro Carajás. *Pará Desenvolvimento*, 23: 13-17.
- VINATEA ARANA, L. 1997. *Princípios químicos da qualidade da água em Aquicultura*. Florianópolis : Ed. da UFSC. 166p.