

IV-160 – EUTROFIZAÇÃO E IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM RESERVATÓRIOS NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO RN

Anderson Felipe de Medeiros Bezerra⁽¹⁾

Ecólogo formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestrando em Engenharia Sanitária pelo Programa de Pós graduação em Engenharia Sanitária (PPGES-LARHISA/UFRN).

Vanessa Becker

Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro/Museu Nacional (2008), Professor do Programa de Pós-Graduação em Eng. Sanitária (UFRN).

Geórgia Moreira Gurgel

Graduanda em Engenharia Civil (UFRN)

Antônio Carlos Lima Pereira

Tecnólogo em Gestão Ambiental (CEFET-RN). Mestrando em Eng. Sanitária (UFRN).

Arthur Mattos

Doutor em Eng. Civil pela USP. Professor do Programa de Pós-Graduação em Eng. Sanitária da UFRN.

Endereço⁽¹⁾: Rua Praia de Jacumã, 8991 – Ponta Negra - Natal - RN - CEP: 59094520 - Brasil - Tel: (84) 3219-2294 - e-mail: andersonecologia@gmail.com

RESUMO

A eutrofização artificial é o crescimento excessivo da biomassa algal resultante do enriquecimento de nutrientes pelas atividades humanas, se tornando o principal problema que as águas superficiais enfrentam nos dias de hoje. Este processo está muito presente nos reservatórios do semiárido potiguar. A eutrofização pode prejudicar os usos múltiplos dos reservatórios, devido à deterioração da qualidade da água e a proliferação de cianobactérias. Portanto, para garantir os usos múltiplos desses mananciais é importante que sejam definidos o grau de trofia e as concentrações máximas dos nutrientes que estão diretamente relacionados à eutrofização, como o fósforo e o nitrogênio. O objetivo deste estudo é avaliar o estado trófico de dois reservatórios na região semiárida do RN através do Índice de Estado Trófico de Carlson Modificado (Toledo-Jr, A.P. & Talarico, M. & Chinez, S.J. & Agudo, E.G. 1983) e monitorar as variáveis limnológicas, de forma a caracterizar a qualidade da água para abastecimento público, classificando estas fontes de água de acordo com o CONAMA 357/2005. Os resultados do IETm mostraram que os reservatórios estavam eutrofizados durante o período de estudo (junho/2010 a abril/2011). Os limites de fósforo total e clorofila *a* estavam acima dos propostos por Thornton & Rast (1993) que estudaram o processo de eutrofização em reservatórios de regiões semiáridas. De acordo com a resolução CONAMA 357/2005, os limites de fósforo total e clorofila *a* estão acima do permitido para águas destinadas ao abastecimento público após tratamento convencional, o que se torna preocupante, uma vez que o principal destino da água destes reservatórios é o abastecimento da população.

PALAVRAS-CHAVE: Eutrofização, IETm, qualidade da água, abastecimento público.

INTRODUÇÃO

A eutrofização artificial (o crescimento excessivo da biomassa algal resultante do enriquecimento de nutrientes pelas atividades humanas) é o principal problema que as águas superficiais enfrentam nos dias de hoje (Esteves, 1998). É um dos exemplos mais visíveis das alterações que o homem pode causar ao meio ambiente. O uso indiscriminado de fertilizantes e despejos de efluentes industriais e domésticos sem qualquer tratamento nos recursos hídricos vem alterando as características de qualidade das águas destinadas ao consumo humano. O controle da carga de nutrientes nos corpos d'água não é de simples implementação, e requer grandes investimentos de recursos financeiros e conscientização ambiental da população.

Na região semiárida do Rio Grande do Norte os reservatórios estão sofrendo um acelerado processo de eutrofização, e a qualidade da água desses ambientes vem sendo seriamente comprometida por florações de cianobactérias potencialmente tóxicas, que além de oferecerem riscos a saúde humana e animal, causam prejuízos econômicos e alteram a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas (BOUVY et al., 2000;

PANOSSO et al., 2007, apud FREITAS, F. R. S. 2008). Considera-se esta floração o principal problema resultante da eutrofização artificial. Tais florações causam drástica redução das concentrações de oxigênio, principalmente nas camadas mais profundas, levando à morte muitos organismos aquáticos, e alterações na coloração e odor das águas. O fato de algumas espécies de cianobactérias produzirem toxinas (cianotoxinas) torna a questão um problema de saúde pública, visto que através do abastecimento público as populações ficam expostas à contaminação. No Rio Grande do Norte, alguns trabalhos já registraram a ocorrência de florações de cianobactérias potencialmente tóxicas e cianotoxinas em diversos reservatórios utilizados para abastecimento público (e.g. PANOSSO et al., 2007; COSTA et al., 2006; MORALES, 2003).

A falta de saneamento básico, cargas externas pontuais e difusas de nutrientes e os elevados índices de evaporação, que favorecem a concentração de nutrientes na água, são as principais causas da eutrofização dos reservatórios.

A degradação dos ecossistemas aquáticos pode resultar em perdas dos seus componentes, assim como perdas nos bens e serviços que esses sistemas fornecem para a sociedade (POSTEL e CARPENTER, 1997; US EPA 1996; CARPENTER et al. 1998). Existem, portanto, grandes prejuízos para a população e outros seres vivos decorrentes da eutrofização, tais como perda da balneabilidade, do valor estético (cor e odor), da biodiversidade, dos recursos pesqueiros, do potencial turístico, dentre outros (CARPENTER et al., 1999). Um exemplo de perda do potencial econômico devido à eutrofização é o caso de alguns pescadores residentes nas comunidades ribeirinhas de reservatórios na região semiárida do RN, que já não conseguem escoar o pescado para comunidades locais, pois já se sabe que os peixes podem se alimentar das cianobactérias, potenciais produtoras de toxinas, as quais podem se acumular na biomassa do peixe pelo princípio da magnificação trófica.

De acordo com Smith (1998) o ponto de partida para o estudo da eutrofização pode ser o conceito de nutriente limitante. Nutrientes limitantes são aqueles que estão presentes no ambiente em quantidades menores do que os demais em relação à demanda do crescimento fitoplanktônico. Isto implica em dizer que um determinado nutriente pode ser o principal fator limitante ao crescimento de organismos fotossintetizantes em um dado ecossistema e que o crescimento desses organismos pode ser proporcional à taxa de fornecimento desse nutriente. Embora o fósforo seja geralmente o nutriente limitante, o nitrogênio pode ocasionalmente ocupar esse papel e limitar o crescimento fitoplanktônico principalmente em ambientes com altas concentrações de fósforo. Dessa forma, o controle da eutrofização depende do controle das cargas desse nutriente limitante para o ecossistema.

Em resumo, a eutrofização pode prejudicar os usos múltiplos dos reservatórios, devido à deterioração da qualidade da água e a proliferação de cianobactérias. Portanto, para garantir os usos múltiplos desses mananciais é importante que sejam definidas as cargas externas máximas de nutrientes que podem ser lançadas nesses ambientes sem elevar o estado trófico dos reservatórios acima de determinados limites considerados desejáveis para as respectivas classes de usos.

No Brasil, dentre as variáveis indicadoras de estado trófico, apenas as concentrações de fósforo total e clorofila *a* são utilizados pelo Ministério do Meio Ambiente em sua resolução CONAMA 357/05 para a classificação e o enquadramento dos corpos de água em função de seus usos. Muitos reservatórios do semiárido são enquadrados na classe II da referida resolução e são utilizados para o abastecimento com tratamento simplificado e/ou para o cultivo de organismos aquáticos por ausência de informação sobre o seu estado trófico e qualidade da água. No entanto, as características históricas de qualidade da água desses reservatórios não se enquadram nesta classificação, sendo necessário um estudo sobre o estado trófico e monitoramento das variáveis limnológicas destes reservatórios, visando melhor gestão dos recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os reservatórios estudados

Foram estudados os reservatórios Gargalheiras (Marechal Dutra) e Cruzeta, ambos inseridos na bacia Piranhas/Açu (figura 1).

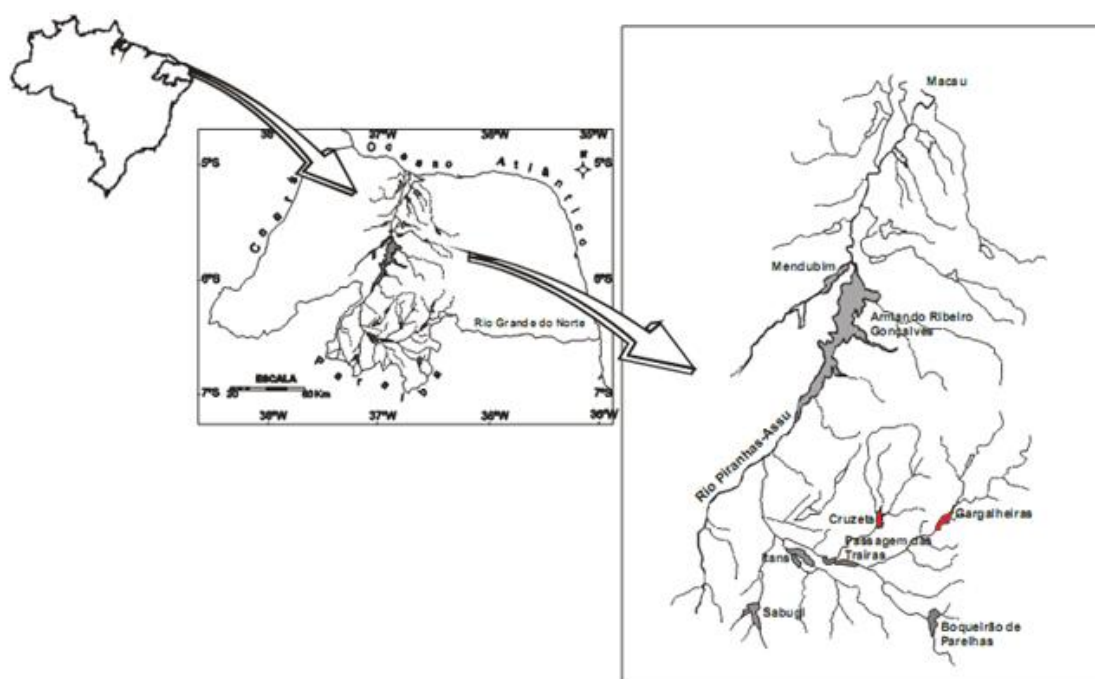


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica Piranhas/Açu, com destaque aos reservatórios estudados.

A bacia hidrográfica do reservatório Cruzeta limita-se com os paralelos 06°03' e 06° 25' Sul e os meridianos 36° 35' e 36° 57' Oeste. O principal tributário é o rio São José, que é um afluente pela margem direita do rio Seridó que por sua vez é afluente pela margem esquerda do rio Piranhas-Açu. A área da bacia do Cruzeta é de 1.010 km² com um perímetro de 157 km (figura 2), e compreende terras dos seguintes municípios: São Vicente com 415 km² (41,1%); Florânea 311 km² (30,8%); Cruzeta 230 km² (22,8%); Acari 49 km² (4,8%) e Currais Novos 5 km² (0,5%).

O reservatório Cruzeta foi concluído em 1929 barrando o Riacho São José no ponto de coordenadas geográficas dado pela Latitude 06°24'32" S e Longitude 36°48'01" W. Com uma capacidade de 23.545.745 m³ (nova curva cota-área-volume a partir de janeiro de 2010 - SEMARH), o açude foi construído com objetivo de promover a convivência do homem com a seca, sendo o IFOCS (Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca) hoje DNOCS, o órgão responsável na época. Em 1984 o reservatório sofreu uma ampliação onde foram acrescentados cerca de 50 cm na parede e nos vertedouros ficando com capacidade máxima de acumulação de 35.000.000 m³, mas com o passar dos anos e com o processo de assoreamento este volume vem diminuindo até os 23 milhões de m³ atuais de capacidade máxima.

A barragem do reservatório Cruzeta tem 880 m de extensão, medida pelo coroamento, construída em solo compactado do tipo seção homogênea, com altura máxima de 15 m. A área da bacia hidráulica é de 8,44 km² e o volume da reserva intangível (volume morto) é de 2.990.000 m³ (DNOCS, 2005).

O reservatório possui potencial disponibilidade de acumulação hídrica, sendo de vital importância para o abastecimento da cidade de Cruzeta, atendimento às demandas de irrigação do perímetro irrigado (localizado à jusante da bacia do reservatório), pesca, recreação e dessedentação de animais, além das captações difusas para irrigação de pequenas áreas de culturas de vazantes (MELO, 2002). Relatos da população e dados anteriores de qualidade da água de Cruzeta não indicam uma água de boa qualidade para consumo humano (não potável), mesmo após tratamento simplificado da estação de tratamento de Cruzeta.

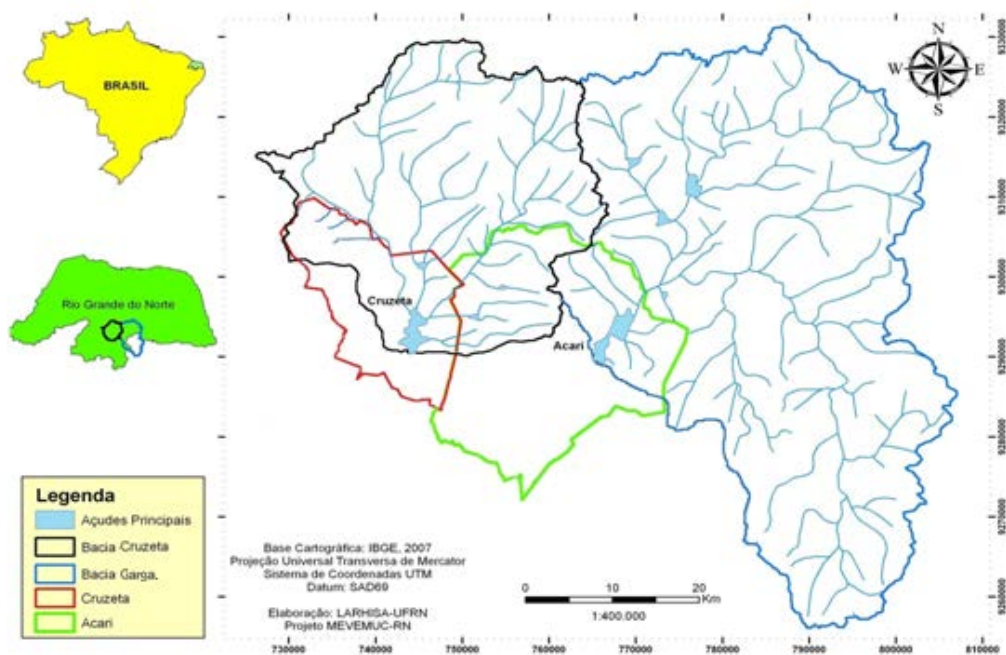


Figura 2: Bacias dos açudes Cruzeta e Gargalheiras e delimitações dos municípios.

Já o reservatório Marechal Dutra, mais conhecido como Gargalheiras, localiza-se no município de Acari/RN. O Gargalheiras abastece os municípios de Acari e Currais Novos, que fazem parte da microregião do Seridó Oriental do estado do Rio Grande do Norte e também estão inseridos na bacia do Rio Seridó. A população residente nos municípios de Acari e Currais Novos, segundo o IBGE (2010) é de 53.700 (cinquenta e três mil e setecentos habitantes), sendo que 7008 habitantes vivem em zonas rurais e 46695 em áreas urbanas. O açude Gargalheiras é de extrema importância para o abastecimento dessas cidades, onde seu maior volume é destinado para Currais Novos por possuir uma população quatro vezes maior do que o município de Acari.

O Reservatório Gargalheiras teve sua construção concluída em 1959 e se originou da barragem do rio Acauã. Está localizado a 13,0 km da cidade de Acari. Abrange uma área de 805,67 ha, com capacidade máxima de acumulação de 44,4 milhões de metros cúbicos (nova curva cota-área-volume a partir de janeiro de 2010) e um volume da reserva intangível (volume morto) de 1 milhão e 600 mil metros cúbicos. A barragem é do tipo concreto (vertedoura) com altura máxima de 26,5 metros e extensão de coroamento de 174 metros. Quando em período de cheias, o reservatório se transforma em um belo ponto turístico pela beleza e magnitude de sua queda d'água. O reservatório Gargalheiras também é administrado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS, 2005).

As principais variáveis morfológicas e hidrológicas do reservatório Gargalheiras e Cruzeta são monitoradas pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH). A figuras 3 mostra os reservatórios pelas imagens de satélite, destacando os pontos de coleta e a distância dos reservatórios para os municípios de Acari e Cruzeta respectivamente.

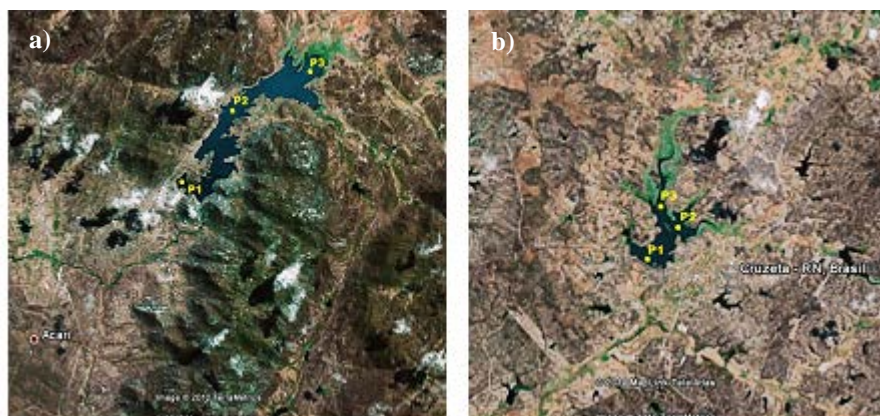


Figura 3: a) Reservatório Gargalheiras; b) Reservatório Cruzeta
Fonte: Google Earth

A tabela 1 resume algumas características morfométricas dos reservatórios que foram estudados.

Tabela 1: Área da bacia hidrográfica (BH), capacidade máxima de acumulação de água (V), área da bacia hidráulica (A) e profundidade média (Z) na cota máxima dos dois reservatórios estudados.

Reservatório	BH (km ²)	V (10 ⁶ m ³)	A (km ²)	V/A = Z (m)
Cruzeta	1.010,00	23,5	6,16	3,8
Gargalheiras	2.400,00	44,4	8,05	5,5

Fonte: <http://www.semarh.rn.gov.br/consulta/cBacia.asp>

Metodologias analíticas

Coletas mensais foram realizadas iniciando o estudo no mês de junho de 2010 e terminando em abril de 2011, compreendendo 11 meses de coleta. Durante esse período foram coletadas amostras de água e dados em loco, tanto no período de estiagem como em período chuvoso, em ambos os reservatórios, possibilitando uma avaliação comparativa dos parâmetros analisados e verificação dos efeitos das variações sazonais na qualidade das águas. As coletas foram feitas em três pontos ao longo do eixo longitudinal do reservatório: próximo à desembocadura do principal tributário, na região central do reservatório e próximo à barragem.

A transparência da água é medida com auxílio do disco de Secchi e a profundidade do ponto de coleta medida com auxílio de uma trena com peso fixado na sua extremidade para melhor medição. As amostras de água foram coletadas com auxílio de uma garrafa de Van Dorn, ao longo de toda coluna d'água para uma maior representatividade dos dados, e assim integradas para a retirada de subamostras. As subamostras foram acondicionadas em garrafas de polietileno, previamente lavadas com HCl 10% e água deionizada e acondicionadas em caixas térmicas com gelo durante o transporte para o laboratório, onde são congeladas para posterior análise de alguns parâmetros (tabela 2). Em laboratório foram analisadas as concentrações de fósforo total, ortofosfato, clorofila "a".

Logo após a coleta, sub-amostras de 200 ml foram filtradas em filtros de fibra de vidro 934-AH Whatman (porosidade=1,5µm), para análises de clorofila *a*. A concentração da clorofila *a* foi determinada através do espectrofotômetro, após extração do pigmento com etanol 95%.

As concentrações de fósforo total foram determinadas colorimetricamente pelo método de Valderrama (1981), através da oxidação dos compostos fosforados em meio ácido, onde a digestão é feita com persulfato de potássio a 124°C. O ortofosfato foi determinado pelo método de Murphy & Riley (1962), que se baseia na formação de um complexo de fosfomolibdato em meio ácido.

Tabela 2: Parâmetros que foram monitorados com os respectivos métodos e referências.

Parâmetro	Método	Referência
Clorofila <i>a</i> (µg/l)	Extração com etanol 95%	Jespersen & Christoffersen, (1988)
Fósforo total (µg/l)	Oxidação em meio ácido	Valderrama (1981)
Fósforo solúvel reativo (µg/l)	Oxidação em meio ácido	Murphy & Riley (1962)
Transparência (m)	Secchi	-

Já para a determinação do grau de trofia dos reservatórios, existem diversas as classificações quantitativas da eutrofização. O índice de CARLSON (1977), pela sua simplicidade e objetividade, é um dos mais utilizados. O autor definiu um índice do estado trófico, usando uma transformação linear da transparência do disco de Secchi, que avalia a concentração de biomassa fitoplantônica (a relação entre biomassa e transparência é inversamente proporcional). Segundo Carlson, a relação entre a biomassa de algas e a transparência pode ser expressa pela equação da extinção vertical da luz incidente em uma superfície de água:

$$I_T = I_0 * e^{-(K_W - K_b) * Tra} \quad (1)$$

Onde,

I_T = intensidade da luz na profundidade onde o disco de Secchi desaparece;

I_0 = intensidade da luz incidente na superfície da água;

K_W = coeficiente de atenuação da luz pela água e sólidos dissolvidos;

K_b = coeficiente de atenuação da luz pelos sólidos suspensos = $\alpha * C$;

α = inverso da concentração superficial de sólidos suspensos, na coluna de água acima do disco de Secchi (m^2/mg);

C = concentração de sólidos suspensos (mg/m^3);

Tra = profundidade na qual o disco de Secchi desaparece.

Além da transparência, o índice pode ser expresso em função das concentrações de fósforo total, e clorofila “a”. Verifica-se que o fósforo total se correlaciona bem com a profundidade de Secchi, quando este é o fator limitante principal do crescimento fitoplantônico. Esta correlação não existe quando a luz ou a temperatura limita a atividade fotossintética.

Estudos realizados no Brasil propõem modificações nas expressões originais do IET de Carlson, baseadas nos dados médios obtidos para a represa de Barra Bonita-SP, no período de 1978 a 1980. Inclui-se ainda uma equação para o ortofosfato solúvel, por ser a forma de fósforo que é diretamente assimilada pelos organismos produtores. Segundo Toledo Jr. et al.(1985), as equações que exprimem o Índice do Estado Trófico de Carlson *Modificado* (IET_m) estão expressas a seguir:

$$IET(CL)_m = 10 \{ 6 - [(2,04 - 0,695 \ln CL) / \ln 2] \} \text{ (clorofila } a \text{ em } mg/m^3) \quad *(2)$$

$$IET(DS)_m = 10 [6 - (0,64 + \ln DS) / \ln 2] \text{ (leitura do disco de Secchi em m)} \quad (3)$$

$$IET(PT)_m = 10 \{ 6 - [\ln (80,32 / PT) / \ln 2] \} \text{ (fósforo total em } mg/m^3) \quad (4)$$

$$IET(PO_4)_m = 10 \{ 6 - [\ln (21,67 / PO_4) / \ln 2] \} \text{ (ortofosfato em } mg/m^3) \quad (5)$$

(*) o ponto inicial da escala (valor zero) corresponde a um valor de transparência = 33,7m e o limite superior do índice (valor 100) correspondente a uma transparência de 3,2 cm.

Os quatro parâmetros utilizados (transparência, fósforo total, ortofosfato e clorofila “a”), representam respectivamente as características físicas, químicas e biológicas de um corpo aquático, medidas em amostras coletadas próximo à superfície da água. Na tabela 3 temos a classificação adotada por Toledo Jr.(1985) para a classificação trófica de reservatórios.

Tabela 3 - Classificação de lagos temperados pelo IETm

Classificação	IETm	PT (µg/L)	OF (µg/L)	Tra (m)	Cl a µg/L
Oligotrófico	< 44	≤ 27	≤ 73	≥ 1,6	≤ 4
Mesotrófico	44 – 54	28 -51	74 - 139	1,6-0,80	4,1 – 9,9
Eutrófico	> 54	≥ 52	≥ 140	≤ 0,79	≥ 10

Fonte: Toledo Jr (1985) *apud* Brito (2009).

RESULTADOS

A tabela 4 apresenta os resultados das estatísticas descritivas para os dados limnológicos do período seco e chuvoso para cada reservatório. Os dados do período seco foram analisados incluindo os meses de junho a dezembro de 2010, e do período chuvoso de janeiro a abril de 2011.

Tabela 4: Resultados das estatísticas descritivas (média, desvio padrão, mínima e máxima) das variáveis monitoradas em Gargalheiras e Cruzeta nos períodos seco e chuvoso.

PARÂMETRO	GARGALHEIRAS		CRUZETA	
	PERÍODO SECO	PERÍODO CHUVOSO	PERÍODO SECO	PERÍODO CHUVOSO
Secchi m	1,06 ± 0,41 (0,50 - 2,10)	0,93 ± 0,65 (0,15 - 2,50)	0,34 ± 0,14 (0,10 - 0,62)	0,65 ± 0,31 (0,18 - 1,15)
PT (µg/L)	98,77 ± 38,67 (19,69 - 163,79)	89,30 ± 53,86 (39,50 - 223,79)	126,33 ± 49,21 (49,31 - 252,71)	138,70 ± 69,01 (56,64 - 264,14)
FSR (µg/L)	23,35 ± 16,46 (0,00 - 76,33)	28,45 ± 28,88 (0,00 - 77,17)	25,58 ± 18,73 (6,33 - 68,42)	35,39 ± 26,08 (0,00 - 80,92)
Cl a (µg/L)	13,02 ± 13,94 (1,95 - 54,97)	49,31 ± 57,49 (3,90 - 173,59)	65,96 ± 58,89 (6,36 - 176,43)	33,77 ± 22,73 (1,11 - 84,76)

As concentrações de fósforo total em Gargalheiras aumentaram durante os meses de agosto a dezembro de 2010, à medida que o reservatório perdia água pela evaporação. No entanto, nos meses com considerável precipitação, a concentração de fósforo no reservatório diminuiu. A maior concentração média (nos três pontos de coleta) foi observada no final do período seco (dez/2010 – 146,64 µg/L) e os menores valores em agosto de 2010 e março de 2011 (36,29 e 51,94, respectivamente).

As concentrações de clorofila não acompanharam claramente as flutuações de fósforo total durante os meses estudados. A máxima concentração média (dos três pontos de coleta) de clorofila foi de 60,90 µg/L em mar/2011 e mínima de 3,75 µg/L em outubro/2010. A média em todo período de estudo foi de 31,16 µg/L.

O FSR obteve máxima de 56,89 µg/L no mês de agosto/2010, e mínima de 9,44 µg/L em março/2011, não apresentando um padrão de distribuição temporal bem definido. No entanto foi observado que no epilânio as concentrações de FSR estavam sempre com valores bem reduzidos e aumentando à medida que aumentamos a profundidade, o que pode indicar que na zona eufótica o FSR era rapidamente assimilado pela comunidade fitoplanctônica, e que o substrato possui importância fundamental no ciclo biogeoquímico do FSR, com aporte constante de fosfatos assimiláveis pela comunidade fitoplanctônica. Isso pode ser mais claramente visto no mês de março/2011, quando a maior concentração de clorofila *a* foi observada, enquanto o reservatório Gargalheiras apresentou a menor concentração de FSR no epilânio.

A maior transparência média mensal da água em Gargalheiras foi observada no mês de março (1,53 m), e mínima no mês de janeiro (0,63 m), sendo os maiores valores encontrados no ponto 2 (centro do reservatório) e os menores valores encontrados no ponto 1 (barragem), influenciados principalmente pela alta biomassa fitoplanctônica que se acumula na barragem pela ação dos ventos.

No reservatório Cruzeta as concentrações de fósforo total variaram bastante durante os meses de estiagem, porém com uma tendência de elevação das concentrações à medida que o reservatório perde água por evaporação. No entanto a máxima observada foi no início do período chuvoso (226,64 µg/L em janeiro/2011), o que pode ter relação com as elevadas cargas de PT carregadas pelos rios tributários no início das chuvas. Porém, em março de 2011, com a elevação abrupta do volume do reservatório, foi observada a menor concentração de PT em Cruzeta (68,37 µg/L), o que pode ser explicado pelo relativo aumento do consumo pelos produtores primários e pela sedimentação da parcela particulada do PT, além do fator diluição pelo aumento do volume do Cruzeta.

Assim como em Gargalheiras as concentrações de clorofila não acompanharam claramente as flutuações de fósforo total em Cruzeta durante os meses estudados. A máxima concentração média de clorofila foi de 161,94 µg/L em junho/2010 e mínima de 13,87 µg/L em agosto/2010.

O FSR em Cruzeta obteve máxima de 65,71 µg/L no mês de agosto/2010, e mínima de 7,51 µg/L em junho/2010, também não apresentando um padrão de distribuição temporal bem definido. Assim como em Gargalheiras, foi observado que no epilânio as concentrações de FSR estavam sempre com valores bem reduzidos e aumentando à medida que aumentamos a profundidade.

A maior transparência média mensal da água em Cruzeta foi observada no mês de fevereiro (1,08 m), e mínima no mês de outubro (0,16 m), sendo os maiores valores encontrados no ponto 1 (mais profundo, média de 0,42 m) e os menores valores encontrados no ponto 2 e 3 (médias de 0,35 e 0,28, respectivamente).

O estudo do estado trófico nos reservatórios Gargalheiras e Cruzeta através do índice de Estado Trófico Modificado durante os onze meses de análises da transparência da água, fósforo total, FSR, e clorofila *a* estão apresentados nas tabelas 5 e 6. Estes resultados levam em conta a média dos três pontos de coleta em cada reservatório, para termos uma maior representatividade espacial de toda a área dos reservatórios.

Tabela 5: Resultados do IETm para cada mês e média dos meses de análise da transparência da água (Secchi), fósforo total (PT), fósforo solúvel reativo (FSR) e clorofila “a” (cl *a*) no reservatório Gargalheiras/Acari, com destaque para o resultado final (média dos IETs dos quatro parâmetros) em vermelho.

IET modificado GARGALHEIRAS					
Meses	IETm(tra)	IETm(PT)	IETm(FSR)	IETm(cl <i>a</i>)	Média
Junho	52,94	65,95	60,49	58,66	59,51
Julho	50,77	65,03	65,34	54,66	58,95
Agosto	46,98	46,85	72,41	59,38	56,41
Setembro	50,62	56,66	50,52	49,41	51,80
Outubro	44,44	64,49	61,05	43,82	53,45
Novembro	49,66	64,28	47,53	57,18	54,66
Dezembro	52,45	68,28	54,05	61,29	59,02
Janeiro	56,98	64,72	53,70	68,36	60,94
Fevereiro	51,81	57,11	59,55	63,14	57,90
Março	47,55	55,14	47,53	71,77	55,50
Abril	59,00	66,10	76,80	72,80	68,70
Média	51,20	60,85	57,22	58,77	57,59

Tabela 6: Resultados do IETm para cada mês e média dos meses de análise da transparência da água (Secchi), fósforo total (PT), fósforo solúvel reativo (FSR) e clorofila “a” (cl “a”) no reservatório Cruzeta, com destaque para o resultado final (média dos IETs dos quatro parâmetros) em vermelho. Obs: por motivos operacionais o mês de fevereiro não pode ser analisado no reservatório Cruzeta.

IET modificado CRUZETA					
IETs	IETm(tra)	IETm(PT)	IETm(FSR)	IETm(Cl"a")	Média
Junho	63,63	67,93	44,71	81,58	64,46
Julho	64,73	69,28	57,80	77,37	67,29
Agosto	61,97	58,56	76,00	56,94	63,37
Setembro	73,28	66,66	63,20	63,09	66,56
Outubro	76,12	59,04	56,64	74,79	66,65
Novembro	65,21	73,44	52,86	70,29	65,45
Dezembro	63,81	67,58	62,23	60,06	63,42
Janeiro	65,01	74,29	65,03	59,59	65,98
março	59,66	58,46	52,11	72,56	60,70
Abril	57,74	66,68	72,56	62,76	64,93
Média	65,12	66,19	60,31	67,90	64,88

A variação do estado trófico em cada ponto de coleta nos dois reservatórios durante o período de estudo está demonstrada nas figuras 5 e 6. Estão destacados os limites dos graus de trofia Mesotrófico (de 44 até 54) e Eutrófico (>54) de acordo com o índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo Jr. et al. (1985).

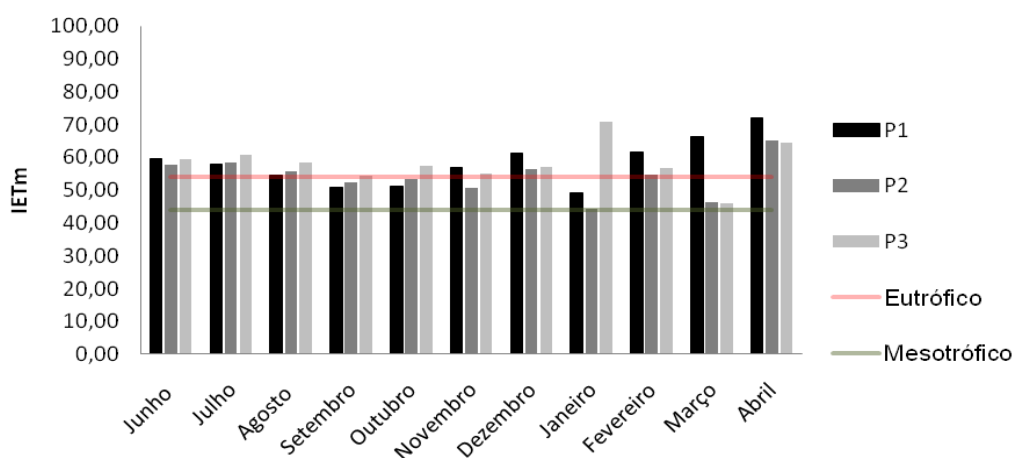


Figura 1: Variação temporal do IETm dos pontos de coleta em Gargalheiras e os limites de trofia.

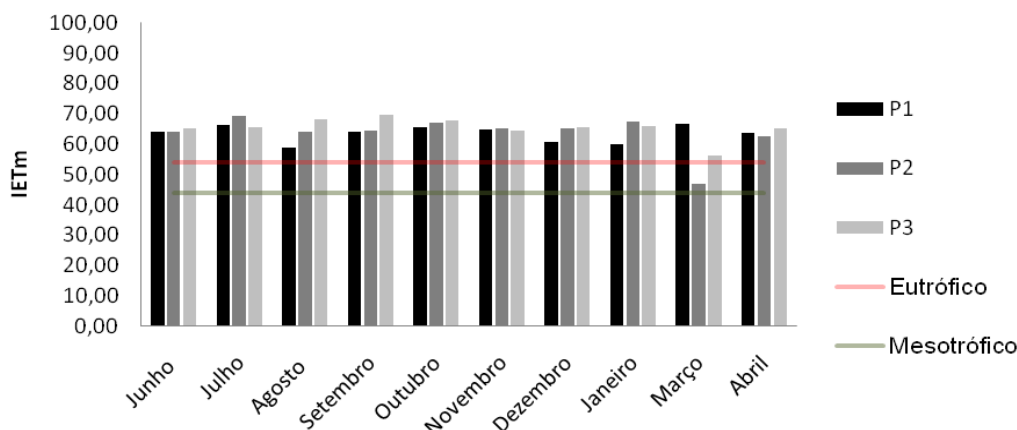


Figura 2: Variação temporal do IETm dos pontos de coleta em Cruzeta e os limites de trofia. Obs: por motivos operacionais o mês de fevereiro não pode ser analisado no reservatório Cruzeta.

Análises de variância (ANOVA) demonstraram que não ocorreram diferenças significativas no estado trófico entre os pontos de coleta durante o período de estudo em ambos os reservatórios ($F= 2,03$ e $P= 0,14$ para Gargalheiras e $F= 0,68$ e $P= 0,51$ para Cruzeta), demonstrando que o processo de eutrofização atinge espacialmente toda a área dos reservatórios, o que indica que são ambientes homogêneos neste sentido.

De acordo com Thornton & Rast (1993) o valor mais indicado como limite de classificação trófica do ambiente como eutrófico para regiões semiáridas seria de $60 \mu\text{g/L}$ para fósforo total e $12 \mu\text{g/L}$ de clorofila *a*. Desta forma o reservatório Gargalheiras pode ser classificado como eutrófico durante quase todo o período monitorado com base nas concentrações de fósforo total (com exceção dos meses de agosto/2010 e março/2011, cujas concentrações de PT estavam abaixo do valor limite).

Com relação à concentração de clorofila *a* percebe-se que na grande parte do tempo o reservatório Gargalheiras também permaneceu eutrófico, com exceção dos meses de julho, setembro e outubro de 2010, com concentrações médias de $11,05 \mu\text{g/L}$, $6,55 \mu\text{g/L}$ e $3,75 \mu\text{g/L}$, respectivamente. Mesquita (2009) e Rocha (2006) em estudos no reservatório Gargalheiras durante os anos de 2005 a 2008, também relataram que as concentrações de PT e clorofila *a* estiveram acima dos limites de $60 \mu\text{g/L}$ e $12 \mu\text{g/L}$ respectivamente, classificando Gargalheiras como eutrófico segundo tais critérios desenvolvidos para regiões semiáridas.

O cálculo do Índice de Estado Trófico de Carlson Modificado (Toledo Jr. et al. 1985) para o reservatório Gargalheiras, mostrou que o reservatório esteve classificado como eutrófico considerando todo período de estudo (IETm médio >54 é considerado como eutrófico – os resultados apontaram 57,59 para Gargalheiras). No entanto, considerando os resultados do IETm médio calculados mês a mês, o reservatório Gargalheiras foi classificado como mesotrófico apenas nos meses de setembro e outubro de 2010. Com relação aos limites de fósforo total e clorofila *a* estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para águas doces classe II (limite de $30 \mu\text{g/L}$ para clorofila *a* e para fósforo total), destinadas ao abastecimento público após tratamento convencional, o reservatório Gargalheiras apresentou-se impróprio para o consumo humano.

Estudos da qualidade da água neste reservatório no ano de 2009 realizados pelo Programa Água Azul (rede compartilhada de monitoramento de qualidade da água) verificaram uma densidade de cianobactérias no reservatório Gargalheiras na ordem de 639.250 cél/ml em setembro de 2009, permanecendo bem acima do limite estabelecido pela Resolução 357/2005 CONAMA para as águas doces de classe II que é de até 50.000 cél/ml e da Portaria 518/2004-MS que é de 20.000 cél/mL. Além disso, o Programa de monitoramento analisou o Rio São Bento, tributário do reservatório Gargalheiras, observando valores de fósforo total na ordem de $312 \mu\text{g/L}$ no ano de 2009, o qual está acima do limite estabelecido para ambientes lóticos ($\leq 100 \mu\text{g/L}$). O IET calculado pelo programa de monitoramento para este rio no ano de 2009, foi de 65,35, que corresponde a um corpo d'água na condição de eutrófico. A água do Rio São Bento, com estes parâmetros de qualidade, tem seu destino final no reservatório Gargalheiras, contribuindo para o processo de eutrofização do reservatório.

É importante destacar que no ano de 2009 o período chuvoso foi suficiente para que os açudes da região semiárida atingissem seus volumes máximos e vertessem, havendo renovação de suas águas e considerável melhora no aspecto visual e em alguns parâmetros de qualidade. No entanto, esta melhora parece ser temporária, pois com as águas trazidas pelos tributários, também entram nos reservatórios toneladas de nutrientes da bacia de drenagem, principalmente pela falta de saneamento dos municípios, o que possibilita em pouco tempo de detenção hidráulica, após período de vertimento, o boom de cianobactérias, como pode ser verificado nos números expressivos das densidades de cianobactérias descritas anteriormente.

O reservatório Cruzeta permaneceu eutrófico durante todo período de estudo, com concentrações de PT e clorofila *a* superiores aos limites estabelecidos por Thornton & Rast (1993). Souza et al. (2008) realizando estudos no Cruzeta, verificaram comportamento semelhante, classificando o açude como eutrófico, considerando a concentração de fósforo total durante o ano de 2005. No entanto, o reservatório pode ser classificado como mesotrófico levando-se em consideração as concentrações de clorofila *a*, neste mesmo ano. Freitas (2008) também classificou o reservatório Cruzeta como eutrófico com base nas concentrações de fósforo total, durante o monitoramento do reservatório realizado no período de março de 2007 a maio de 2008 (com exceção dos meses de agosto e setembro de 2007, cujas concentrações de PT estavam abaixo deste valor limite). Entretanto, quanto à concentração de clorofila *a* Freitas relatou que na grande parte do tempo o reservatório permaneceu mesotrófico, com concentrações inclusive bem abaixo de 12 µg/l em alguns meses (faixa de variação de 2,43 – 41,00 µg/l). O mesmo não ocorreu durante o período deste estudo (junho/2010 a abril/2011), mesmo com o reservatório vertendo no final de abril/2011, Cruzeta ainda apresentou concentrações de clorofila *a* acima do limite de 12 µg/l.

O cálculo do Índice de Estado Trófico de Carlson Modificado (Toledo Jr. et al. 1985), também mostrou que o reservatório estava classificado como eutrófico considerando todo período de estudo (IETm médio >54 é considerado como eutrófico – os resultados apontaram 64,88 para Cruzeta). Considerando os resultados do IETm médio calculados mês a mês, o reservatório Cruzeta esteve todos os meses com o índice acima do limite de 54, estando eutrofizado durante todo período de estudo, assim como os resultados obtidos com os limites propostos por Thornton & Rast (1993). Com relação ao CONAMA 357/2005 o reservatório Cruzeta apresentou-se impróprio para o consumo humano após tratamento convencional.

O Programa Água Azul apontou uma densidade de cianobactérias no reservatório Cruzeta na ordem de 377.800 cél/mL em setembro de 2009, estando bem acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, o que caracteriza um ambiente com elevado grau de eutrofização, podendo causar danos à saúde pública decorrentes das cianotoxinas que por ventura sejam liberadas no processo de tratamento convencional da água por lise celular.

CONCLUSÕES

O cálculo do ITE_m geral dos reservatórios (determinado através da média aritmética dos ITEs dos quatro parâmetros analisados) mostrou que ambos encontravam-se eutrofizados no período da pesquisa. Confrontando os resultados obtidos através do IETm com o enquadramento proposto por Toledo Jr. (1985) e a resolução CONAMA 357/2005, observa-se que todos os resultados indicam que os reservatórios encontravam-se eutrofizados durante todo período. Esta classificação dificilmente seria diferente da apontada devido à elevada concentração de algas, chegando a causar um forte impacto visual e mau cheiro em algumas ocasiões. O aporte de nutrientes externos devido à falta de saneamento básico e o uso indiscriminado de agrotóxicos nas áreas adjacentes aos reservatórios contribuem para que historicamente as águas se encontrem impróprias para o consumo humano, encarecendo os custos de tratamento.

É importante observar que o uso de índices como o de estado trófico de reservatórios são úteis para quantificar o grau de trofia e facilitar a divulgação de resultados para órgãos públicos e para população. Porém, os resultados destes índices devem ser confrontados com limites e classificações propostas por estudiosos da área, como os limites propostos por Thornton & Rast (1993), para lagos em regiões tropicais, e Vollenweider (1968), para lagos em regiões temperadas.

Alguns liminólogos e ecólogos aquáticos discordam do uso de índices de estado trófico, pois os resultados podem mascarar o real estado trófico do corpo hídrico, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de

material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos. Por isso é importante confrontar os resultados com os limites propostos por estudiosos da área, para uma determinação conjunta do grau de trofia correto. Assim, ambos os resultados classificaram os reservatórios Gargalheiras e Cruzeta como eutróficos, considerando todo período de estudo, não havendo variações espaciais ou temporais significativas no estado trófico.

Ficam como recomendações o monitoramento contínuo do estado trófico dos reservatórios da região semiárida potiguar, que historicamente sofrem com florações de cianobactérias, deteriorando a qualidade da água que possui como principal uso o abastecimento público. Por isso devem ser investidos recursos governamentais para o investimento e adequação das estações de tratamento de água destes reservatórios, para adequação às legislações ambientais. Além disso, é preciso se investir em saneamento dos municípios da região, adequando os sistemas de tratamento de esgotos para diminuir a carga de nutrientes que chegam aos reservatórios todos os anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBOSA, C. M. de S.; MOURA, E. M. de; SENA, D. S. de; RIGHETTO, A. M.; MATTOS, A. Problemática ambiental dos recursos hídricos na região do Seridó do RN. In: VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Gravatá-PE: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, novembro de 2006. CD-Rom.
2. BOUVY, M.; NASCIMENTO, S. M.; MOLICA, R. J. R.; FERREIRA, A.; HUSZAR, V. AZEVEDO, A. M. F. O. (2003). Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*. 493: 115 – 130.
3. CARPENTER, S.R.; CARACO, N.F.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N. & SMITH, V.H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.*, 8, 559–568.
4. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União – Seção1, nº 53, 18 de março de 2005.
5. ESTEVES, F.A., 1998, Fundamentos de limnologia. Interciência/FINEP, Rio de Janeiro, 575p.
6. FREITAS, FRANCISCO RAFAEL SOUSA. (2008). Eutrofização do Reservatório Cruzeta na bacia representativa do rio Seridó – RN / Francisco Rafael Sousa Freitas. Natal, RN, 2008. 80 f.: il.
7. MESQUITA, T.P.N. (2009) Eutrofização e Capacidade de Carga de Fósforo de Seis Reservatórios da Bacia do Rio Seridó, Região Semi-Árida do Estado do RN.
8. PROGRAMA ÁGUA AZUL, Rede Compartilhada de Monitoramento de Qualidade da Água, 2008.
9. RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Secretaria de estado dos recursos hídricos. Programa de desenvolvimento sustentável e convivência com o semi-árido potiguar. Natal, RN. 2005.
10. ROCHA, Elinez da Silva, 2006. Sustentabilidade ambiental do cultivo intensivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede e a capacidade de suporte de quatro reservatórios em uma região semi-árida tropical. Dissertação de Mestrado do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
11. SCHEFFER, M., and van NES, E. (2007). Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*. 548: 455-466.
12. SCHINDLER, D. W.; HECKY, R. E.; FINDLAY, D. L.; STANTON, M. P.; PARKER, B. R.; PATERSON, M. J.; BEATY, K. G.; LING, M.; KASIAN, S. E. M. (2008). Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *PNAS*, 105 (32): 11254-11258.
13. TOLEDO-JR, A.P. & TALARICO, M. & CHINEZ, S.J. & AGUDO, E.G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Balneário Camboriú, Santa Catarina. p. 1-34.
14. VAL H. SMITH AND DAVID W. SCHINDLER (2009). Eutrophication science: where do we go from here? Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Kansas, Lawrence, KS 66045, USA. *Trends in Ecology and Evolution* Vol.24.