

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA TOXICIDADE AGUDA DA ÁGUA DE UM ECOSISTEMA LACUSTRE URBANO DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA-CE POR BIOENSAIOS COM *Selenastrum capricornutum* - LAGOA DO OPAIA

Érica Vieira de Paula SOUZA ⁽¹⁾; Priscila Maria DELLAMATRICE ⁽²⁾; Raimundo Bemvindo GOMES ⁽³⁾; Francisca Dalila Menezes de SOUSA ⁽⁴⁾.

(1) e (4) Alunas do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do CEFETCE, Av. 13 de Maio, Nº 2081, Bairro Benfica, CEP 60040-531, Fone: 33073600, e-mails: ericasouza1986@yahoo.com.br, dalilamenezes@yahoo.com.br

(2) Pesquisadora (Bolsista DCR) no CEFETCE, e-mail: priscila@cefetce.br

(3) Prof. da Área de Química e Meio Ambiente do CEFETCE, e-mail: bemvindo@cefetce.br

RESUMO

Fortaleza apresenta muitas lagoas com importância para melhoria dos microclimas, drenagem pluvial, atividades de lazer e pesca. Entretanto, a qualidade física, química e sanitária de suas águas não garante o desenvolvimento destas atividades com segurança. Tal ocorre pelo aporte excessivo de matéria orgânica e substâncias tóxicas advindas do lançamento de resíduos líquidos e sólidos. Como consequência, as lagoas não atendem aos padrões legais referentes aos múltiplos usos. O presente trabalho avalia, de forma preliminar, a toxicidade aguda da água da lagoa do Opaia, utilizando como organismo-teste cepa padrão de *Selenastrum capricornutum*, proveniente do Canadá, largamente utilizado para avaliações desta natureza, (BLAISE *et al.*, 2000). As coletas foram realizadas no mês de março de 2007 no ponto de entrada do tributário principal e mantidas sob refrigeração até o processamento. Os resultados mostraram que o percentual de inibição de crescimento do organismo-teste variou de 67% (na maior diluição-1:8) a 100% (sem diluição), caracterizando a elevada toxicidade dos efluentes lançados no ecossistema, potencializado pelo escoamento superficial, já que o experimento realizado no início do período chuvoso. Conclui-se que o ecossistema está sob efeito de pulsos poluidores contínuos de forma pontual ou difusa, necessitando de interceptação destes aportes que superam sua capacidade de diluição.

Palavras-chave: Toxicidade, lagoa urbana, *Selenastrum capricornutum*.

1. INTRODUÇÃO

A redução da biodiversidade tem inúmeras causas, e a principal delas é a adição de substâncias orgânicas ou inorgânicas nos ecossistemas. Esta situação também se reproduz nos ambientes aquáticos, os quais, por se constituírem áreas de drenagem, portanto com maior propensão aos processos poluidores, tornam-se cada vez mais vulneráveis e sem condições de abrigar a biodiversidade característica dos sistemas equilibrados.

A poluição por despejo de resíduos no ambiente é tão intensa que o ecossistema aquático se tornou seletivo, de forma que apenas algumas poucas espécies sobrevivem, reduzindo assim a diversidade da fauna, flora e microbiota aquáticas. Os mares e rios sofrem esse impacto de forma menos considerável já que apresentam movimento, permitindo de certa forma uma degradação mais rápida e uma diluição do material despejado, além de possuírem um volume consideravelmente maior. Em lagos e lagoas, como praticamente inexistente a mistura e o espalhamento, todo o resíduo que entra no ecossistema permanece, até que os organismos que lá vivem sejam capazes de degradá-lo. Porém, apenas alguns poucos seres resistem à carga de material depositada.

Em Fortaleza-CE, as lagoas se constituem em importantes sistemas, já que suas águas e seus produtos desempenham papel importante na vida dos que vivem em seu entorno. Água para recreação e lazer, diluição de despejos, harmonia paisagística, irrigação, pesca, são algumas das atividades desenvolvidas na lagoa. O crescimento da cidade e a imigração provocam a ocupação de terrenos desobedecendo às normas ambientais, invadindo locais susceptíveis e importantes para a conservação destes recursos e sem nenhuma infra-estrutura sanitária. O resultado disso é a redução da qualidade das águas, diminuição de sua biota e conseqüente aumento em seu valor social e econômico.

Águas para abastecimento são retiradas de reservatórios superficiais e subterrâneos de água doce, que constantemente são carregados de resíduos sólidos e líquidos. Os lençóis freáticos são mais atingidos por resíduos líquidos que lá chegam através da infiltração, levando sais, metais e chorume, que é o líquido resultante do lixo. Já as lagoas sofrem com os dois tipos de resíduos: o sólido, que é o lixo jogado diretamente no corpo receptor, com restos de alimentos e material não biodegradável, e o líquido, sendo representado principalmente pelo esgoto, despejado sem qualquer forma de tratamento. O aumento da carga orgânica e inorgânica nos corpos receptores apresenta dois tipos de efeitos: a eutrofização, que traz problemas com relação ao aumento de organismos que diminuem o oxigênio dissolvido no manancial, e o outro é o da toxicidade, causada pela quantidade de substâncias químicas despejadas.

Neste trabalho foi avaliado o grau de toxicidade aguda da água de uma lagoa de Fortaleza sobre a espécie algal *Selenastrum capricornutum*, medida através da quantificação de células sobreviventes na amostra e comparando com um controle. Através dessa contagem foi obtido o grau de inibição e determinado o grau de toxicidade da lagoa, estudando-se a relação com as constantes mortandades de peixes, para mostrar como esta toxicidade pode afetar na saúde da biota aquática e humana.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância da água

Para a humanidade, o recurso natural mais precioso e discutido no momento é a água, cuja disponibilidade, tanto em quantidade como em qualidade, é um dos principais fatores limitantes no desenvolvimento das cidades (ANDREOLI *et al.*, 2000).

A água é provavelmente o único recurso natural que tem a ver com todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial aos valores culturais e religiosos arraigados na sociedade. É um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário (MOSS, 2007).

As reservas brasileiras de água doce, que representam aproximadamente 12% do volume total mundial, não estão distribuídas de maneira uniforme pelo país, visto que 80% delas concentram-se na Amazônia. (MARGULIS, *et al.*, 2002). Desta forma, há locais onde ocorre escassez deste bem.

A água doce utilizada pelo homem vem das represas, rios, lagos, açudes, reservas subterrâneas e, em certos casos, do mar (após a dessalinização). A água para o consumo é armazenada em reservatórios de

distribuição e depois enviada para grandes tanques e caixas d'água de casas e edifícios. Após o uso, a água segue pela rede de captação de esgotos. Antes de voltar à natureza, ela deve ser novamente tratada, para evitar a contaminação de rios e reservatórios (MOSS, 2007).

Os ecossistemas aquáticos são considerados como os maiores receptores de contaminantes, seja por fontes pontuais, esgotos domésticos e industriais, ou difusas, como águas de chuvas e lixiviados advindos de regiões agrícolas (IPEN, 2006).

Dentre os ecossistemas, os aquáticos têm merecido maiores estudos, pois além de serem os mais susceptíveis, recebem diretamente esses agentes químicos provenientes de despejos industriais e domésticos, ou indiretamente, por águas de chuva e carreamento superficial dos solos (DORNFELD, 2002).

De acordo com Moss (2007), os rios e lagos brasileiros vêm sendo comprometidos pela queda de qualidade da água disponível para captação e tratamento. Na região amazônica e no Pantanal, por exemplo, rios como o Madeira, o Cuiabá e o Paraguai já apresentam contaminação pelo mercúrio, metal utilizado no garimpo clandestino, e pelo uso de agrotóxicos nos campos de lavoura. Nas grandes cidades, esse comprometimento da qualidade é causado por despejos de esgotos domésticos e industriais, além do uso dos rios como convenientes transportadores de lixo.

Além disso, o país tem enfrentado terríveis perdas com enchentes, sobretudo em áreas urbanas de risco, que são densamente povoadas por famílias de baixa renda e onde, normalmente, os serviços de saneamento básico são precários ou inexistentes (VALDES *et al.*, 2004).

As lagoas, de forma geral, têm uma série de funções ecológicas no meio ambiente, além das funções sócio-econômicas. Ecologicamente elas diminuem o superaquecimento do ar atmosférico, captam águas pluviais por estarem localizadas em níveis de base, diminuem os transtornos provocados pelas inundações nas áreas urbanizadas, compõem a paisagem natural, além de serem “habitat” de inúmeras espécies de fauna e flora (VASCONCELOS, 1995).

Considerando-se a abrangência dos impactos ambientais decorrentes do aporte de poluentes aos ecossistemas aquáticos, novas abordagens aos programas de monitoramento e avaliação ambiental têm sido implementadas, de forma a avaliar a saúde dos ecossistemas, uma vez que as análises químicas da água e sedimento apenas reportam a concentração e o tipo de poluentes nos diferentes compartimentos, não trazendo mais informações sobre os possíveis efeitos reais nas comunidades (MATSUI *et al.*, 2002).

2.2. Poluição e seus efeitos

Definida como o estudo dos efeitos adversos dos produtos químicos sobre os organismos vivos, a toxicologia atua no exame da natureza desses efeitos e na determinação da probabilidade de sua ocorrência. Pode ser classificada como descritiva, mecanística e regulamentadora (MATSUI *et al.*, 2002). No âmbito dos ecossistemas, os aspectos toxicológicos são estudados por intermédio da ecotoxicologia que tem como princípio básico o estudo dos efeitos dos agentes físicos, químicos e biológicos sobre as populações e comunidades em seus ecossistemas, incluindo as formas de transporte, distribuição transformação, interações e destino final desses agentes nos diferentes compartimentos do ambiente (SETAC, 2006).

Os estudos ecotoxicológicos têm sido levado a efeito de forma aguda e crônica, sendo a forma aguda aquela causada por uma exposição aguda, única ou múltipla, dentro de um curto período de tempo. Quanto à toxicologia aquática para seres humanos, um efeito agudo nem sempre é medido em termos de letalidade. A toxicidade crônica por sua vez é definida como aquela causada por exposição crônica, continuada, ao longo de um período de tempo relativamente longo, normalmente superior a um décimo do período de vida do organismo considerado (MATSUI *et al.*, 2002). Neste estudo, foi considerada como toxicidade aguda a causada no período correspondente a 10% do tempo de vida média do organismo-teste utilizado.

O uso de organismos vivos para avaliar as mudanças ocorridas no ambiente, geralmente causadas por ações antropogênicas tem-se constituído numa ferramenta importante para a avaliação sistemática dessas respostas, e conhecido como biomonitoramento (BUSS *et al.*, 2003). Neste contexto espécies animais ou vegetais que indicam precocemente a existência de modificações bióticas (orgânicas) e abióticas (físico/químicas) de um ambiente são utilizadas e recebem a denominação de bioindicadores. Estes organismos ajudam a detectar diversos tipos de modificações ambientais antes que se agravem e ainda contribuem para a determinação da natureza da poluição que pode afetar um ecossistema (AMBIENTE BRASIL, 2006). Vários organismos podem ser utilizados, tais como algas, bactérias, microcrustáceos, peixes, plantas, entre outros, mas para tanto é necessário que este tenha sido retirado do próprio ecossistema em

estudo. No caso do presente trabalho, como o indicador não proveio do ecossistema estudado, mas do Center Saint Laurent, Environment Canada, este é considerado como organismo-teste, já que esta espécie é também encontrada no ecossistema estudado.

As metodologias analíticas que permitem caracterizar a toxicidade de efluentes e substâncias químicas em geral sobre o meio ambiente a partir da exposição de organismos vivos (bioindicadores, organismos-testes) a estas substâncias e da observação e quantificação dos efeitos tóxicos das mesmas sobre aqueles organismos são denominadas bioensaios de ecotoxicidade. Complementando os ensaios físico-químicos convencionais que quantificam fatores individuais relevantes à qualidade da amostra analisada, os bioensaios de ecotoxicidade demonstram diretamente o efeito tóxico da mesma, muitas vezes causado por fatores individuais não previstos ou desconhecidos, ou pelo sinergismo entre dois ou mais fatores (UMWELT ASSESSORIA AMBIENTAL, 2006). Estes efeitos podem ser sobre a morfologia, reprodução, crescimento, comportamento ou letalidade.

O método de ensaio de toxicidade com algas consiste na exposição de organismos-testes a várias diluições da amostra, por um período de 72 a 96 horas. O efeito tóxico é determinado pela inibição do crescimento da biomassa algaica nos recipientes teste comparado com o controle, sob as mesmas condições de ensaio (ABNT, 2000). O ensaio de toxicidade aguda, LC_{50} , com algas determina a concentração que provoca 50% de inibição do crescimento de algas verdes ao fim de 96 horas. Pode ser aplicado em amostras de água, de lamas de estações de tratamento de águas residuárias e em outros resíduos (NOSTOC, 2007). Neste caso, usamos a nomenclatura IC_{50} (concentração necessária para causar inibição de 50% dos organismos inoculados), já que, na verdade, não verificamos a quantidade de células mortas, e sim a redução (inibição) no crescimento algal.

A espécie *Selenastrum capricornutum* é uma alga verde unicelular na forma de crescente ($40-60\mu m^3$), que pode ser encontrada em ambientes eutróficos ou oligotróficos de água doce. Quando exposta a amostras líquidas contendo um tóxico disponível, ocorre inibição do crescimento comparando com uma cultura controle não exposta (BLAISE *et al.*, 2000).

O método de avaliação de toxicidade com *S. capricornutum* é utilizado isoladamente ou como parte de uma bateria de testes para avaliar a fitotoxicidade em águas ou águas residuárias. Aplicável em qualquer laboratório, utilizando material e equipamentos básicos, sendo simples e de custo acessível (BLAISE, 2000).

2.3. Substâncias tóxicas e ecossistemas aquáticos

Conforme mencionado por Freedman (1995), alguns metais são considerados essenciais aos seres vivos, como magnésio, ferro, zinco, manganês, cobre, cobalto, molibdênio e boro, mas em concentrações elevadas geralmente são tóxicos.

Os metais entram nos lagos e nos rios por meio de processos físicos e químicos naturais, como o intemperismo ou a infiltração em solos e rochas. Esses processos garantem um nível de metais “de base” nas águas doces (FÖRSTNER, 1983). Atividades humanas, porém têm alterado significativamente estes teores.

Quando substâncias orgânicas tóxicas penetram em um sistema aquático, elas são submetidas a processos naturais que causam sua partição e dispersão entre os diversos componentes do sistema, por meio do denominado processo de transporte, e sua alteração química para outras substâncias, pela denominada transformação (MATSUI *et al.*, 2002).

Este autor afirma ainda que um composto é considerado de risco quando possui as seguintes características: alto potencial tóxico, grande facilidade de dispersão, persistência no meio, tendência de bioacumulação e grande volume sendo produzido.

São consideradas fontes primárias de contaminação do solo, e conseqüentemente, da água, a deposição de metais e compostos orgânicos no solo pelo uso de fertilizantes e corretivos, lodo de esgoto e agrotóxicos. Fontes secundárias são associadas à adição indireta de poluentes ao solo e à água, tais como a mineração ou deposição via atmosférica a partir de fontes distantes (CASTRO & JONSSON, 2001).

A temperatura é um fator determinante e qualquer equilíbrio depende dela. A luminosidade é decisiva nos processos fotolíticos. As chuvas podem provocar o acúmulo sazonal de substâncias tóxicas aerotransportadas existentes em uma atmosfera contaminada e, ao mesmo tempo, causar a diluição daquelas já presentes no corpo hídrico. Finalmente, em lagos grandes e rasos, os ventos podem dar origem a ondas capazes de suspender sedimentos e causar a reciclagem de contaminantes (MATSUI *et al.*, 2002).

Como citado por Ferreira (2003), alguns parâmetros são responsáveis pelo crescimento ou decaimento da quantidade de organismo no ecossistema aquático, como pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, dureza total, amônia, nitrito, nitrato, fósforo, ferro, entre outros.

Características da bacia como extensão das margens e seu desenvolvimento, profundidade, área da bacia e configuração podem dar origem a condições localizadas capazes de afetar a concentração das substâncias tóxicas no meio. Outra característica importante seria a localização das fontes dentro do ecossistema. Também processos limnológicos de circulação, estratificação e mistura desempenham importante papel na distribuição das substâncias dentro do lago (MATSUI *et al.*, 2002).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área em estudo

A área estudada foi selecionada entre as dez principais lagoas urbanas de Fortaleza, com base em um estudo maior envolvendo o diagnóstico das condições ambientais e de balneabilidade destes corpos hídricos, conduzido desde agosto de 2006 por intermédio de convênio entre a Prefeitura Municipal de Fortaleza e o Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará.

Para a seleção do ecossistema foram realizados testes preliminares utilizando-se apenas o ponto de centro, efetivados durante mês de janeiro de 2007. Com base nos resultados foi selecionada a lagoa do Opaia por apresentar valor estimativo de toxicidade mais representativo. Complementarmente foram considerados os impactos a que este corpo hídrico estava submetido como: natureza das atividades antrópicas no entorno, afluência de público nos finais de semana e, também, a qualidade física, química e sanitária de suas águas.

A lagoa Opaia é uma microbacia integrante da bacia do rio Cocó, que se desenvolve no sentido sul-norte por longo trecho do seu percurso, formando, em direção à foz, uma acentuada curva de sudoeste para leste (COGERH, 2000), situando-se, portanto, a leste de Fortaleza. Esta bacia é o principal recurso hídrico do município, corresponde a 64,3% de sua área total. Compreende as áreas dos Municípios de Fortaleza, Aquiraz, Maranguape e Pacatuba. O rio Cocó nasce na vertente oriental da Serra da Aratanha no município de Pacatuba, drenando as porções leste, sul e central do Município, ocupando uma área aproximada de 215,9 km². Sofre influência das marés, que adentram no seu leito por aproximadamente 13 km, formando um estuário alongado e estreito, composto por manguezais.

A lagoa do Opaia (Figura 3.1) está localizada próximo ao Aeroporto Internacional Pinto Martins, no bairro Vila União. É considerada de médio porte (área superficial de 109 ha.). Em um lado de sua margem fica o Parque de Preservação, que atualmente vem sendo reformado, como parte do projeto de recuperação desta lagoa. Do lado oposto, há aproximadamente 15 anos houve invasão da área, criando um grande assentamento à beira da lagoa, que contribui, e muito, para acelerar o processo de degradação. Hoje, somente a região que foi invadida foi urbanizada por completo, já que o outro lado possui somente a praça, mas esta área continua sem esgotamento sanitário, de modo que os resíduos lançados desembocam na lagoa. A vegetação é abundante, especialmente no interior da lagoa, como consequência do processo de eutrofização, mesmo com a limpeza regular realizada pela Prefeitura Municipal de Fortaleza.

Muitas pessoas usam a lagoa para diversas atividades como pesca, banho, lazer, lavagem de roupas e de animais. A água da lagoa também é usada pela Prefeitura para irrigação de canteiros e praças da cidade. O nível sócio-econômico dos moradores é predominantemente de renda mais baixa.

3.2. Plano de Amostragem, Coletas e Preservação de Amostras

Considerando que já ocorriam coletas sistemáticas para avaliação da qualidade física, química e biológica dos dez ecossistemas lacustres mais importantes de Fortaleza, o plano de amostragem para o presente trabalho consistiu na incorporação de coletas adicionais, no mês de março de 2007.



Fonte: SEMAM 2006

Figura 1 – Imagem fotogramétrica da Lagoa do Opaia, mostrando o ponto de coleta.

As amostras foram coletadas em fins de semana, entre de 9h e 10h, no ponto central, utilizando-se um barco a motor. Para cada amostra foram coletados aproximadamente 500mL de água da lagoa, em profundidade de 30 a 50 cm, usando-se frascos de polietileno de parede lisa, que foram acondicionadas em caixas isotérmicas (4 e 10 °C) e encaminhadas ao LIAMAR/CEFETCE em prazo máximo de 4h. No laboratório as amostras foram filtradas em membrana de fibra de vidro de 0,45µm de porosidade, isentando a amostra de toda a microbiota acompanhante. Em seguida a amostra era mantida sob refrigeração até início dos testes de toxicidade com o organismo-teste selecionado, que se iniciava na segunda feira subsequente.

3.3. Procedimentos para cultivo da alga

Os testes para determinação da toxicidade aguda do ecossistema seguiram orientação de Blaise *et al.* (2000). Para obtenção dos microrganismos em quantidade necessária à realização dos biensaíes, foi realizado cultivo da cepa de *Selenastrum capricornutum* (Figura 3.3). As células foram inoculadas em meio de enriquecimento preparado por diluição do meio mineral AAP (Algal Assay Procedure Medium) – meio 18x e incubadas em câmara de DBO à temperatura de 20 ± 1 °C por, no mínimo, cinco dias e no máximo sete, sob iluminação constante.



Figura 2 – Cultura da cepa *Selenastrum capricornutum*

Em cada cultivo foi inoculado, de forma asséptica, 1mL de uma cultura de sete dias em 50mL do meio, mantido sob incubação por uma semana. Após esse período seguia-se o repique, de forma semelhante à obtenção das culturas iniciais para manutenção.

O meio de cultura utilizado resulta da combinação de soluções S₁ (que continha os micronutrientes) e S₂, S₃, S₄ e S₅ (que continham os macronutrientes). De cada uma dessas soluções eram retiradas alíquotas de 0,9 mL e adicionada em 50mL de água destilada para formar o meio enriquecido para os testes - o meio 18X.

3.4. Teste de toxicidade aguda com *Selenastrum capricornutum*

Foram feitas duas coletas no período de março de 2007. O teste de toxicidade foi coletado em um ponto de amostragem (entrada do tributário principal) utilizando-se cinco concentrações, sendo um na amostra inteira (100%), três nas diluições 50%, 25%, 12,5% e um em meio diluente (controle), conforme mostra a Figura 3.4. Não houve a preparação de réplicas, apesar de ser convencionalmente utilizadas para maior segurança nos resultados. Para cada sequência de tubos foi feito um tubo controle individual.



Figura 3 – Testes de toxicidade com *Selenastrum capricornutum* na lagoa do Opaia, Fortaleza-CE

Para cada tubo-teste contendo as amostras assepticamente filtradas foram inoculadas 10⁴ células/mL do organismo-teste. Cada teste foi realizado com duração 72 horas, com as amostras expostas à luz contínua (luz fluorescente) e submetida à agitação por pelo menos três vezes ao dia, para propiciar um melhor contato do inóculo com o meio reacional. Os testes foram realizados à temperatura do ambiente laboratorial. Para manter a homogeneidade de iluminação os tubos foram mantidos em suportes de isopor branco o que possibilitava maior reflexão da luz.

Seguindo a NBR 12648, da ABNT, o teste foi preparado com intervalos amplos de diluição, de modo que a diluição seguinte correspondia ao dobro da diluição anterior. Ao final do ensaio, foram determinadas a inibição sobre o crescimento da alga em cada diluição e a partir destes valores foram construídas curvas dose-resposta para a determinação da IC₅₀. O ensaio preliminar foi conduzido nas mesmas condições do ensaio definitivo.

Para execução dos testes foram preparados dois tipos de soluções: uma solução diluente isotônica por diluição da solução estoque S₅, na proporção de 0,1% com água destilada. Esta solução foi utilizada para preparar as diluições de todas as amostras. A segunda solução, utilizada para preparo do inóculo, era o próprio meio 18x, usado no cultivo.

Para cada diluição foi adicionado 0,1 mL de inóculo, de modo que a concentração final resultasse em 10⁴ células algais/mL. Finalmente os tubos inoculados eram protegidos com filme plástico e expostos à luz.

O inóculo era obtido a partir da diluição de uma alíquota de cultivo padrão de *Selenastrum capricornutum* de 5 a 7 dias com solução a isotônica, após determinação da densidade celular por microscopia, obtendo-se um volume de 2 mL. Finalmente esta suspensão era diluída com meio 18x, de modo a obter uma suspensão com 10⁵ células/mL.

A contagem de células por microscopia era realizada em câmara Neubauer conforme seqüência seguinte:

1. Transferência, com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, de uma gota do cultivo para a câmara contagem;
2. Contagem de células em 5 quadrantes (4 nos vértices e um central) e obtenção da média aritmética das células contadas;
3. Cálculo da densidade celular em células/mL (volume da câmara = 6,25 x 10⁻⁶ mL);
4. Cálculo de fator de diluição (volume final inoculado em cada tubo = 2,6mL)

5. Cálculo do volume inóculo a ser adicionado em cada tubo.

Após o período de incubação, foram determinadas as densidades celulares finais em cada tubo e os percentuais de inibição por intermédio da equação:

$$\% \text{ de Inibição} = \frac{100 - (\text{Total de células remanescentes na amostra ou diluição} \times 100)}{\text{Total de células remanescentes no}} \quad [\text{Eq. 01}]$$

A partir dos percentuais de inibição foi possível calcular a IC_{50} para o ponto da lagoa, utilizando-se o aplicativo Eco-Statistics, version 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da toxicidade da água da lagoa selecionada

As inibições do crescimento celular do organismo-teste para as amostras coletadas foram comparadas às análises físico-químicas e de metais realizadas pelo Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias (LIAMAR/CEFETCE) visando elucidar as possíveis causas de toxicidade, além de fatores climáticos e de movimentação no entorno da lagoa.

De acordo com a inibição das concentrações do ponto da lagoa, foi calculado IC_{50} definida como a menor concentração capaz de causar efeito tóxico em até 96 horas. Resalta-se que quanto menor o IC_{50} , maior será sua toxicidade, indicando que mesmo em concentrações baixas a lagoa é capaz de causar inibição. Nos pontos em que o IC_{50} apresentou-se maior que 100, significa que é preciso uma concentração maior que a da lagoa para causar inibição.

No ponto analisado, o grau de toxicidade (calculado por intermédio do programa Eco-Statistics version 1), variou pouco durante as duas coletas. Na primeira coleta foi observado o menor grau de toxicidade ($IC_{50} = 10,88\%$), enquanto na segunda coleta a toxicidade aumentou ($IC_{50} = 6,62\%$). A partir destes resultados pode-se inferir que uma concentração de 10,88% de água da lagoa já foi bastante para causar morte ou inibição do crescimento de 50% das células. Na segunda análise, esse percentual foi ainda menor (6,62%), tornando a situação mais preocupante. Desta forma, comprova-se, mesmo que preliminarmente, o avançado nível de poluição do ecossistema.

Foi observado ainda, com base na média aritmética dos valores de inibição encontrados em cada concentração testada, valores de 67% de inibição na menor concentração (amostra mais diluída), aumentando gradualmente até chegar a 100% de inibição na maior concentração (amostra sem diluição). Este fato pode ser atribuído ao aumento das chuvas no período de amostragem que, inicialmente lava a bacia de drenagem, aportando maior carga exógena, razão porque não foi percebido o efeito da diluição.

A tabela a seguir mostra os resultados da contagem de células e do percentual de inibição.

Tabela 1 – Número de células e percentuais de inibição encontrados na água da lagoa do Opaia – Fortaleza-CE

1ª coleta			2ª coleta		
Concentração (%)	Nº de células /mL após 72h	Inibição (%)	Concentração (%)	Nº de células /mL após 72h	Inibição (%)
0 (Controle 1)	1,28x10 ⁶	0	0 (Controle 2)	5,60x10 ⁶	0
12,5	0,48x10 ⁶	62,5	12,5	1,60x10 ⁶	71,4
25	0,32x10 ⁶	75	25	0,64x10 ⁶	88,6
50	0	100	50	0,32x10 ⁶	94,6
100	0	100	100	0	100
$IC_{50} = 10,88\%$			$IC_{50} = 6,62\%$		

Fonte: Dados da Pesquisa

Considerando que não há dados históricos da hidrologia e pluviometria desta microbacia, o arraste difuso de resíduos tóxicos à lagoa no início do período chuvoso e o efeito da diluição no decorrer do estudo foram os fatores mais evidentes que contribuíram para a variação da toxicidade no período estudado. Deve ser

ressaltado, entretanto, que outros fatores não controlados podem ter contribuído para estes resultados, inclusive a presença de cianobactérias toxicogênicas.

Conforme apresentado na Tabela 2, os valores médios de pH, temperatura e OD, se mantiveram dentro dos limites normais durante o período de estudo (8,18, 31,0 °C e 5,7mg/L, em média, respectivamente); porém os teores médios de DBO₅, óleos e graxas, representativos da matéria orgânica (34,9 mg/L e 13,7 mg/L, respectivamente) e de sólidos dissolvidos totais (1942 mg/L), estiveram bem acima dos valores de referência (Resolução N°357/05, CONAMA).

De acordo as análises de metais realizadas no mesmo mês, o teor de cádmio (0,002 mg/L) apresentou-se em desacordo com o padrão legal (0,001 mg/L), podendo ter contribuído para aumento da toxicidade.

Tabelas 2 – Médias dos pontos de amostragem da Lagoa do Opaia referente ao mês de março de 2007

Parâmetros	Resultados e média dos Pontos				
	P.01	P.02	P.03	Média	Padrão Res. CONAMA 357/05)
pH	8,06	8,14	8,33	8,18	6 – 9
Temperatura (°C)	31,0	31,0	31,0	31,0	-
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,3	4,9	6,7	5,7	≥ 5
DBO ₅ (mg/L)	37,2	32,5	34,9	34,9	≤ 5
Óleos e Graxas (mg/L)	14,8	8,8	17,4	13,7	Virtualmente Ausente
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	4889	539	399	1.942	500
Cádmio (mg/L)	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001

Fonte: Dados da Pesquisa

A consolidação destes resultados preliminares deve ser levado a efeito utilizando-se replicatas e ampliando-se o número de amostras e de fatores a serem controlados, fase a ser implementada posteriormente.

5. CONCLUSÃO

O grau de toxicidade esteve relacionado com o período chuvoso, o qual parece ter sido o principal fator do maior aporte de substâncias tóxicas à lagoa pelo escoamento superficial em decorrência da maior disponibilidade destes resíduos, em consequência das múltiplas atividades desenvolvidas no entorno.

Esta situação foi contatada in loco, a partir das visitas de campo para levantamento das condições ambientais e percepção ambiental dos usuários. Foi observada grande precariedade do sistema saneamento básico e, em consequência, considerável vazão de esgoto aportada via galerias pluviais, acúmulo de lixo no entorno, especialmente na área de influencia do ponto 1, entrada do tributário principal.

Experimentalmente, foi constatado aumento de toxicidade da primeira (IC₅₀= 10,88%) para segunda (IC₅₀= 6,62%) coleta, realizadas no mês de março, como resultado do aumento do nível de poluição no corpo aquático. Este fato é corroborado pelas elevadas concentrações de DBO₅, óleos e graxas e sólidos dissolvidos totais (34,9 mg/L; 13,7 mg/L e 1942 mg/L, respectivamente) encontradas neste mesmo mês. A presença de cádmio (0,002mg/L) na coluna d'água em concentração superior ao valor máximo permitido (VMP) pela Resolução CONAMA 357/2005 (0,001mg/L) pode ter contribuído pra aumentar o grau de toxicidade.

Os resultados deste estudo, mesmo que de forma preliminar, comprovam a necessidade de um melhor gerenciamento dos ecossistemas hídricos urbanos de Fortaleza, a cada dia mais impactados pelas atividades antrópicas que terminam por lançar seus efluentes indireta (via galerias pluviais) ou diretamente nas lagoas pelas deficiências dos sistemas de saneamento básico e por falta de programas de educação ambiental que envolva a comunidade na co-responsabilidade na busca de solução para os problemas ambientais. Ressalta-se que não basta monitorar, mas o monitoramento sistemático de forma ampla pode fornecer subsídios para tomadas de decisão no sentido de recuperar e proteger esses recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V. *et al.* **Os Mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba - RMC – 9º SILUBESA - Simpósio Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Porto Seguro Anais..., p.196-205, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12648- Ecotoxicologia aquática-Toxicidade crônica- Método de ensaios com algas (*Chlorophyceae*).** Rio de Janeiro, RJ. 26ª reunião, 2000, 20 p.
- BLAISE, C.; FORGET, G.; TROTTIER, S. **Toxicity screening of aqueous samples using a cost-effective 72-H exposure *Selenastrum capricornutum* assay.** Technical Methods, v. 15, n. 4, p. 352-359, 2000.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. **Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios.** EMBRAPA, Rio de Janeiro, n. 19, p. 465 – 473, 2003.
- CASTRO, V. L. S.; JONSSON, C.M. **Aspectos toxicológicos em ambiente aquático e em mamíferos.** In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P., RAIJ, B. van & ABREU, C.A. *Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura.* CNPq/FAPESP/POTAFOS. Jaboticabal. p.577-596, 2001.
- DORNFELD, C. B. **Utilização de análises limnológicas, bioensaios de toxicidade e macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP).** Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002. 211p.
- FERREIRA, C. M. **A importância da água e sua utilização em ranários comerciais.** Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Peixes Ornamentais. Publicado na revista Panorama de Aqüicultura, nº79, v. 13, p. 15 – 17. Disponível em: <<http://www.pesca.sp.gov.br/arquivos/importanciadaagua.doc>> - Acesso em 02/04/2007.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal Pollution in the aquatic environment.** 2ª ed, Berlin, Springer- Verlag, 1983. In: *Diretrizes para o gerenciamento de lagos - Gerenciamento de substâncias tóxicas em lagos e reservatórios.* São Paulo, v. 4, p. 71 – 87. 2002.
- IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares). **Ecotoxicologia.** São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.ipen.br/sitio/?idc=388>>. Acesso em 12/01/2007.
- MARGULIS, S.; *et al.* **A gestão da qualidade da água – Inserção de Temas Ambientais na Agenda do Setor Hídrico.** BANCO MUNDIAL, Brasil. 2002. 72 p.
- MATSUI, S.; BARRETT, B. F. D.; BANERJEE, J. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos - Gerenciamento de substâncias tóxicas em lagos e reservatórios.** São Paulo. v. 4. 2002. 216 p.
- MOSS, M.; GÉRARD; **A Importância da Água.** Brasil das águas - Revelando o azul do verde e do amarelo. Disponível em: <http://www.brasildasaguas.com.br/brasil_das_aguas/importancia_agua.html>. Acesso em 12/03/2007
- UMWELT ASSESSORIA AMBIENTAL. **Bioensaios de Ecotoxicidade. Ferramentas de Monitoramento para Avaliação Efetiva e Minimização de Riscos de Impacto Ambiental.** Santa Catarina. Disponível em: http://umwelt-sc.com.br/v2/module/texto/index.php?cmd=exibe&CD_TEXTO=20. Acesso em: 21/12/2006.
- VALDES A.; *et al.* **Impactos e Externalidades Sociais da Irrigação no Semi-árido Brasileiro.** Série Água Brasil. Banco Mundial, Brasília. v.5, 2004.123 p.
- VASCONCELOS, F. P.; CORIOLANO, L. N. M. T.; SOUZA, M. J. N. **Relatório do Projeto: Análise Ambiental e Sócio-econômica dos Sistemas Lacustres Litorâneos do Município de Fortaleza.** Universidade Estadual do Ceará, CE. 1995. 70 p.