

Algas como bioindicadores da qualidade da água

Algae as bioindicators of water quality

Algas como bioindicadores de la calidad del agua

Sâmia Momesso Marques

Mestranda do PPGECC, UNESP – Ilha Solteira/SP, Brasil.
samia.momesso@gmail.com

Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro

Professora Doutora do PPGECC, UNESP – Ilha Solteira/SP, Brasil.
americo.ju@gmail.com

RESUMO

O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico mundial têm cada vez mais gerado resíduos que alteram negativamente os ecossistemas. Para avaliar o grau de contaminação de ambientes aquáticos, são estudadas comunidades biológicas que possam atender como bioindicadores aquáticos, dentre elas estão os fitoplânctons, as macroalgas, as algas marinhas, os macroinvertebrados e os peixes. As algas são consideradas com indicadores de alterações do meio, além de que estão bem distribuídas no globo terrestre. O presente estudo objetivou compreender informações básicas das algas para posteriormente realizar análise geral de como elas desempenham papel de bioindicadores de poluentes em ecossistemas aquáticos. As algas são organismos morfológicamente simples, podem ser uni ou pluricelulares, não possuem raízes, caules ou folhas verdadeiras, são todas eucariontes e autótrofas fotossintetizantes. Por serem de nível trófico inferior aos demais seres aquáticos, sofrem alterações diretas em decorrência à poluição das águas. As características de monitoramento das algas são uma ferramenta positiva que pode ser usada para avaliar a presença de contaminantes nocivos à vida aquática, e conseqüentemente a outros níveis tróficos como os seres humanos. Nesse trabalho, foram considerados diversos estudos que avaliaram o comportamento de algas frente à adição de determinados poluentes que possam ser encontrados na natureza devido, principalmente, a despejos de efluentes não tratados. Três tipos distintos de algas foram considerados nesse estudo, *Chorella vulgaris*, *Pseudokirchneriella subcapitata* e *Scenedesmus subspicatus*, todas algas de água doce. Observou-se que as algas são capazes de facilitar a identificação de poluentes.

PALAVRAS-CHAVE: Análise da água. *Chlorella vulgaris*. *Pseudokirchneriella subcapitata*.

ABSTRACT

The global population growth and technological development have increasingly wastes generation which adversely the ecosystems. To assess the contamination level from aquatic environment, have been studied biological communities capable of perform the role to aquatic bioindicators; among them are phytoplankton, macroalgae, seaweed, macroinvertebrates and fishes. The algae shall be considered change indicators, besides they have useful spread on the globe. The present study aims to understand the algae basic information and then provide general analyses about the role of algae like pollutants bioindicators in natural aquatic ecosystems. The algae are organisms with an ordinary morphology, which can be mono- or multiple-cell, they have not actual roots, stem or leaves and all of them are autotrophs. Their trophic level are inferior to the others, so the algae suffer direct modifications. The algae monitoring features are a favorable tool, which can be apply to assess the presence of environmental contaminants and their adverse aquatic health effect. There have been regarded studies of algae behavior in addition of certain pollutants that can be found in nature, mainly, as a result of domestic and industrial not treated effluents input. Three different types of algae have been considered, all of fresh water, *Chorella vulgaris*, *Pseudokirchneriella subcapitata* and *Scenedesmus subspicatus*. It have been noticed that algae are capable of easily identify pollutants

KEYWORDS: Water analysis. *Chlorella vulgaris*. *Pseudokirchneriella subcapitata*.

RESUMEN

El crecimiento de la población mundial y el desarrollo tecnológico tienen cada vez más generación de desechos que perjudican a los ecosistemas. Para evaluar el nivel de contaminación del medio acuático, se han estudiado comunidades biológicas capaces de desempeñar el papel de bioindicadores acuáticos; Entre ellos el fitoplancton, las macroalgas, las algas marinas, los macroinvertebrados y los peces. Las algas se considerarán indicadores de cambio, además de que tienen una propagación útil en el globo. El presente estudio tiene como objetivo comprender la información básica de las algas y luego proporcionar análisis generales sobre el papel de las algas como contaminantes bioindicadores en los ecosistemas acuáticos naturales. Las algas son organismos con una morfología ordinaria, que pueden ser monoculares o múltiples, no tienen raíces, tallos u hojas reales y todos son autotróficos. Su nivel trófico es inferior a los otros, por lo que las algas sufren modificaciones directas. Las características de monitoreo de algas son una herramienta favorable, que puede aplicarse para evaluar la presencia de contaminantes ambientales y su efecto adverso para la salud acuática. Se han considerado estudios de comportamiento de algas además de ciertos contaminantes que se pueden encontrar en la naturaleza, principalmente, como resultado de la entrada de efluentes domésticos e industriales no tratados. Se han considerado tres tipos diferentes de algas, todas de agua dulce, *Chorella vulgaris*, *Pseudokirchneriella subcapitata* y *Scenedesmus subspicatus*. Se ha observado que las algas son capaces de identificar fácilmente contaminantes.

PALABRAS-CLAVE: Análisis del agua. *Chlorella vulgaris*. *Pseudokirchneriella subcapitata*.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e com isso o surgimento e desenvolvimento de cidades, têm acarretado a geração de resíduos cada vez mais elevada, assim como, maior exigência e uso dos recursos hídricos. Segundo Goulart e Callisto (2003), inexistem um ecossistema que não tenha sofrido influência direta ou indireta do ser humano em todo o planeta, como contaminação dos ambientes aquáticos, desmatamento, contaminação de lençol freático e introdução de espécies exóticas, resultando na diminuição da diversidade de habitats e na perda da biodiversidade.

Os recursos naturais são expostos às situações de risco, seja devido ao seu consumo, ao uso como matéria-prima, ou mesmo ao lançamento de efluentes no meio ambiente. Tais ações podem interferir poluindo e também causando deteriorações irreversíveis ao ambiente. Por sua vez, a degradação ambiental reduz a oferta de recursos naturais, gerando crise energética, diminuição da produção de bens e podem acarretar crise econômica.

Os ecossistemas aquáticos têm sido alterados de maneira significativa em função de múltiplos impactos ambientais advindos de atividades antrópicas, tais como: mineração, construção de barragens e represas, retificação e desvio de curso natural de rios, lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados, desmatamento e uso inadequado do solo em regiões ripárias e planícies de inundação, superexposição de recursos pesqueiros, introdução de espécies exóticas (GOULART; CALLISTO, 2003). Tais alterações provocam desestruturação do ambiente físico-químico e alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas.

Frente à necessidade de proteger o meio ambiente e preservar a vida nos ecossistemas, acordos internacionais são assinados para proteger a biodiversidade (UNITED NATIONS, 1992), fazendo necessária a avaliação global de áreas continentais e, ou marinhas.

Para avaliar o grau de contaminação de ambientes aquáticos e o prejuízo que os poluentes podem proporcionar, de acordo com Ar Gall et al. (2016), a União Europeia incluiu no “Water Framework Directory”, desde os anos 2000, a investigação de determinadas comunidades biológicas como bioindicadores para realizar avaliação do *status* ecológico de corpos hídricos. Os bioindicadores aquáticos utilizados incluem principalmente o fitoplâncton, as macroalgas, as algas marinhas, os macroinvertebrados e os peixes.

De acordo com Shoubaky (2013), comunidades de algas são consideradas bons indicadores de mudanças ambientais. A distribuição das espécies e dinâmica dos recursos, em ambientes aquáticos ou terrestres, tem sido afetada pela alteração climática e pela atividade humana indiscriminada.

As algas são organismos capazes de ocupar todos os meios que lhes ofereçam luz e umidade suficientes, temporárias ou permanentes; assim, são encontradas em águas doces, na água do mar, sobre os solos úmidos ou mesmo sobre a neve. Quer sejam uni ou pluricelulares, as algas tiram todos os nutrientes que precisam do meio onde estão – solução ou umidade – e, portanto, são organismos fundamentalmente aquáticos (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2004).

Comunidades de algas foram as primeiras a serem reconhecidas como um elemento indicativo da qualidade para classificação de corpos hídricos costeiros, e foram estabelecidos para

macroalgas índices capazes de avaliar tanto as águas costeiras como as de transição (AR GALL et al., 2016). Fatores incluindo aquecimento e acidificação do oceano têm causado efeitos colaterais às algas, como, por exemplo, reorganização de comunidades locais, desaparecimento de algumas espécies e alteração da importância de outras.

Segundo Shoubaky (2013), a influência humana pode provocar degradação e mudanças substanciais no meio ambiente. E, apesar de apresentarem pontos em comum, cada tipo de alga possui suas próprias características, podendo indicar de maneiras distintas tais alterações que poluentes podem acarretar aos corpos hídricos.

Assim, o presente estudo objetivou levantar as informações básicas sobre algas e a partir de então, realizar a análise de como esses organismos podem desempenhar papel de bioindicadores de poluição dos ecossistemas aquáticos.

2 DEFINIÇÃO GERAL DE ALGAS

De acordo com Bicudo e Menezes (2006), após o nascimento em 1753, o termo “alga” foi usado para denominar uma enorme variedade de organismos e sua interpretação tem sido amplamente discutida até os dias atuais, de forma que não se pode lhe atribuir um significado preciso.

De fato, encontram-se incluídos entre as algas desde organismos morfológicamente simples, os unicelulares, até as formas habitantes dos mares frios, os vareques que apresentam talos multicelulares com formação de tecidos e inclusive vasos condutores (BICUDO; MENEZES, 2006). De forma geral, as algas são organismos fotossintetizantes, cujo o ciclo de vida se completa, geralmente, em meio aquático. Elas não possuem raízes, caules ou folhas verdadeiras, e são seres eucariontes, autótrofos fotossintetizantes dotados de clorofila, podendo ser uni ou pluricelulares.

As algas são organismos de elevada importância no ciclo da vida, pois representam um nível trófico inferior aos demais, servindo de alimento para outras espécies aquáticas. Para seu crescimento e sua manutenção de vida é necessária a disponibilidade de água, luz, gás carbônico e minerais. Sendo assim, são contaminadas de maneira direta quando existem poluentes na água (SANTOS; CAMPOS, 2016).

No meio aquático as algas podem constituir comunidades conhecidas como fitoplâncton e fitobentos. O fitoplâncton, composto por algas planctônicas, constitui a base da cadeia alimentar. O fitobentos, por outro lado, é composto por algas macroscópicas fixadas em solo marinho, são clorofilados, porém nem sempre são verdes devido à sua composição apresentar substâncias além da clorofila, possibilitando sobressair diferentes colorações, como azuladas, pardas, avermelhadas e até mesmo negras (DOKULIL, 2003).

O plâncton geralmente constitui a unidade básica da produção de matéria orgânica dos ecossistemas aquáticos. Em presença de nutrientes apropriados e em quantidade suficiente, os componentes vegetais do plâncton são capazes de acumular energia solar luminosa na forma de compostos químicos energéticos, por meio da fotossíntese. O oxigênio produzido

nesse processo representa parcela significativa do total que é utilizado pelos organismos aquáticos para sua respiração (DI BERNARDO, 1995).

De uma forma geral, os ambientes aquáticos possuem comunidades planctônicas variadas e abundantes, as quais têm dependência direta com as características abióticas e bióticas. Dentre os fatores que influenciam no fitoplâncton, por exemplo, podemos citar os fatores ambientais que englobam: a intensidade de luz responsável por favorecer realização da fotossíntese, o calor que no caso da água pode apresentar elevada variação de temperatura ao longo das estações ou mesmo de um dia, o oxigênio dissolvido que tem como fonte principal a atmosfera e tem sua solubilidade variando em função da temperatura, o dióxido de carbono por apresentar considerável solubilidade em água e importante papel no metabolismo dos organismos aquáticos, e os nutrientes, sendo os dois principais para o fitoplâncton o nitrogênio e o fósforo (DI BERNARDO, 1995).

Outros fatores importantes na definição da distribuição do fitoplâncton é a suspensão e distribuição espacial, a qual varia conforme a tendência dessas algas a se sedimentarem em águas não turbulentas, pois, em sua maioria, apresenta massa específica superior à da água.

3 APLICAÇÕES DAS ALGAS

As algas são utilizadas com diversas finalidades, desde alimentação humana e animal, como para a extração de sal e produção de cosméticos e fármacos. Segundo Caliceti et al. (2002), algas representam uma importante fonte de economia, principalmente para países banhados pelos oceanos Índico e Pacífico, onde as algas são amplamente retiradas, e também intensamente aplicadas na nutrição humana, a nível comparativo à Europa.

Apesar disso, é comum na Europa utilizar as algas para extração de iodo e de sódio, pois alguns países como Noruega, Escócia e Islândia passaram por colonização excessiva de determinadas espécies, como a alga *Ulva*, *Enteromorpha*, *Chaetomorpha* e *Cladophora*. Essas algas causaram sérios problemas para a qualidade ambiental e para a economia da população local. Por isso, foram estudados meios de reduzir as superpopulações (CALICETI et al., 2002).

De acordo com Vidotti e Rollemberg (2004), algumas espécies de algas possibilitam seu uso na avaliação da qualidade dos sistemas aquáticos, para os quais, inclusive já foi sugerido um "índice de poluição" baseado nos gêneros de algas presentes. Tal avaliação sugere que quanto menos diversificada a população, maior a poluição do sistema. Um outro aspecto, está relacionado à capacidade em retirar do meio aquoso elementos químicos e sugere a utilização de algumas espécies de algas na recuperação de sistemas aquáticos, em especial quanto à presença de íons metálicos e de alguns compostos orgânicos. Assim sendo, surgiu na Europa aplicação de algas para monitorar e restaurar os ambientes. Com isso, desenvolveram-se também estudos adotando o uso de diferentes espécies de algas para indicar contaminações em ecossistemas, principalmente o aquático.

Conforme citado por Caliceti et al. (2002), um exemplo existente na Europa é o lago de Veneza que a partir dos anos 60 foi alterado por uma produção anormal de espécies nitrofilicas, especialmente *Ulva rigida*, a qual era responsável por causar alteração na estrutura da flora

bentônica, mudança dos ciclos de nutrientes e ocorrência de crises distróficas. Foram explorados diversos projetos, que dessem um destino a excessiva biomassa coletada do lago, uma das aplicações foi o uso de culturas de algas na agricultura, e a produção de composto e biogás, porém os resultados não foram satisfatórios.

Segundo Caliceli et al. (2002), a solução final foi encontrada a partir do método de converter a biomassa em massa de papel, após pré-tratamento para produzir a "*Ulva carta*" foi desenvolvido a partir de uma empresa local de papel. Forma econômica conveniente.

As algas são capazes de influenciar na qualidade das águas de estações de tratamento, segundo Di Bernardo (1995), a identificação dos organismos fitoplânctônicos em categorias taxonômicas específicas é essencial para o conhecimento da estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos.

4 ALGAS COMO BIOINDICADORES

O controle de florescimentos algais, especialmente em lagos, pode ser conseguido por meio da aplicação rotineira de algicidas. O sulfato de cobre pode ser aplicado com o intuito de reduzir as populações de algas, porém é preciso se atentar para a toxicidade do cobre aos demais organismos vivos presentes no ecossistema aquático, razão pela qual a dosagem desse produto deve seguir padrões estabelecidos a partir de testes laboratoriais (DI BERNARDO, 1995).

Apesar da preocupação com o crescimento excessivo de algas, elas apresentam características de monitoramento da qualidade aquática, podendo ser utilizadas para avaliar a presença de contaminantes nocivos à vida aquática e, com isso, possivelmente aos seres humanos.

Como expresso por Dokulil (2003), o valor das algas como bioindicadores da qualidade de água doce já era conhecido na metade do século XIX. A primeira tentativa para classificar organismos aquáticos, de forma geral, como indicadores de qualidade de água, foi feita por Cohn (1870), e mais tarde modificada por Mez (1898).

De acordo com Dokulil (2003), as algas marinhas bentônicas, por sua vez, também são periodicamente expostas a condições ambientais estressantes, como a variação de temperatura, redução de nutrientes, dessecação e variação na pressão osmótica. Dessa forma, podem ser estudados os fatores bióticos capazes de alterar a estrutura das algas expostas a determinados contaminantes presentes no oceano.

Para uma alga ser considerada um indicador ambiental é necessário avaliar uma ou mais variáveis ambientais. Esse conceito de indicadores pode ser estendido além da presença ou ausência de um determinado fator, podendo ser relacionado à abundância, à biomassa ou ao crescimento de espécies de algas com impactos ambientais gerais ou com sintomas de estresse específicos; a espécie indicadora torna-se então um "biosensor" para o bioensaio de determinada contaminação ambiental. Outro conceito associa às espécies indicadoras aos organismos que acumulam substâncias do ambiente circundante de modo a refletir os níveis naturais e a exposição a estas substâncias. Estas espécies são "bioacumuladores",

especialmente úteis quando se concentram níveis muito baixos de uma substância (DOKULIL, 2003).

Para estabelecer quais as variáveis ambientais a serem avaliadas, podem ser consideradas diversas normas e padrões previamente estabelecidos. O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é um exemplo. Este indicador de qualidade foi criado nos Estados Unidos em 1970 pela National Sanitation Foundation, e a partir de 1975 passou a ser adotado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), o IQA é o principal índice de qualidade de água utilizado no país. Ele considera a qualidade de águas de abastecimento público e é composto por nove parâmetros de avaliação. Dentre os parâmetros encontramos: oxigênio dissolvido; coliformes termotolerantes; potencial hidrogeniônico; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); temperatura da água; nitrogênio total; fósforo total; turbidez; sólidos totais.

As algas são frequentemente utilizadas como indicadores de eutrofização, porém elas também podem ser empregadas na detecção de poluição devido a sua tolerância bem documentada (DOKULIL, 2003). Algumas espécies, como a *Pseudokirchneriella subcapitata*, são usadas como bioindicadores em bioensaios laboratoriais enquanto as associações naturais de fitoplâncton são frequentemente utilizadas para bioensaios *in situ* (SCHELSKE, 1984). As algas podem ser usadas para indicar distúrbios biológicos e físicos dos ambientes e utilizando parâmetros referentes às análises quantitativas das macroalgas bentônicas pode-se caracterizar diferentes graus de distúrbios (FIGUEIREDO; BARRETO; REIS, 2004).

Em um conceito mais amplo, estes organismos têm sido vistos cada vez mais como sensores que indicam se um ambiente vem sendo afetado. Qualquer alteração física, química ou biológica em um ambiente aquático, manifesta impactos na vida e saúde dos organismos presentes no local. O conceito de saúde ambiental nesse meio pode então ser avaliado por meio do monitoramento dos organismos, que funcionam como ferramenta diagnóstica.

Frente a estas características das algas, os estudos que as utilizam como bioindicadores tem crescido nos últimos anos. As algas, tanto as de águas doce quanto as marinhas, uni ou pluricelulares, são cada vez mais aplicadas na avaliação do impacto de contaminantes no ambiente aquático. Partindo do pressuposto de que diversas substâncias químicas têm sido cada vez mais utilizadas, em decorrência do desenvolvimento desenfreado de centros urbanos e do elevado crescimento populacional mundial.

Sendo assim, seguem nos próximos tópicos alguns tipos de algas comumente adotados em experimentos e as diferentes análises feitas a partir do comportamento das algas de água doce na presença de contaminantes.

4.1 *Chlorella vulgaris*

Microalgas são organismos fotossintetizantes, os quais necessitam apenas de CO₂, água e nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) para o seu crescimento. A produção de biomassa das microalgas contém uma quantidade significativa de lipídios na forma de ácidos graxos, que podem ser extraídos para produção de biodiesel (LAM et al., 2017).

A *Chlorella vulgaris* é uma alga verde unicelular encontrada na água doce, que tem sido utilizada em estudos recentes para analisar o impacto de determinados poluentes na vida aquática.

Wang et al. (2017) cultivou esta espécie em extratos de lodo de tratamento de efluentes para remoção da toxicidade da água. Como resultado do estudo, a *Chlorella vulgaris* mostrou-se capaz de remover 45% do nitrogênio total e 90% do fósforo total. Além disso, com 8 dias de tratamento, a alga teve seu máximo desempenho na redução da ecotoxicidade e do carbono orgânico total (COT) presentes no lodo. Para tal avaliação, foram considerados como padrão de análise a performance em remoção de nutrientes, a redução de toxicidade e o crescimento das algas.

Em outro estudo, Beddow et al. (2016), considerou o efeito de águas contaminadas por areias de petróleo e a ação do ácido naftênico tanto no processo fotossintético quanto no crescimento vegetal. Dentre os possíveis bioindicadores estudados estava presente a *C. vulgaris*. A escolha do ácido naftênico como contaminante se deu devido ao fato deste ácido estar entre os poluentes orgânicos mais tóxicos encontrados em águas de areias petrolíferas. Dentre as algas utilizadas nos experimentos, a de água doce *C. vulgaris* apresentou uma considerável tolerância ao poluente estudado, em comparação a *Emiliana huxleyi*, de água salgada, o que foi evidenciado pela alteração das células de permeabilidade das algas, e no potencial de assimilação de nutrientes e processos químicos. Porém, ambas algas apresentaram um aumento nas dimensões celulares, devido ao estresse tóxico. Podendo-se concluir que as duas são capazes de indicar a existência de poluição por ácido naftênico em ecossistemas aquáticos.

Tendo em vista que diversos poluentes podem alterar a vida aquática, outra substância impactante já avaliada é o bisfenol A (BPA) e sua biodegradação nas algas de água doce. Ji et al. (2014) investigaram a toxicidade, o estresse celular e a biodegradação/bioacumulação na *Chlorella vulgaris*. Esta alga apresentou um valor de 39,8 mg/L para concentração efetiva que inibe até 50% do crescimento em até 120 horas (CE_{50-120h}). O peso da célula seca e a quantidade de clorofila *a* presentes nas algas foram inversamente proporcionais as adições de BPA, para valores acima de 10 mg/L. E o crescimento deste tipo de alga proporcionou significativa inibição em seu crescimento a partir de 50 mg/L de BPA.

A maior taxa de biodegradação de BPA encontrada, 23%, para *C. vulgaris* foi alcançada à 1 mg/L do composto. E tanto o teor de ácidos graxos totais como o de hidrocarbonetos aumentaram com a elevação da concentração de BPA (JI et al., 2014).

4.2 *Pseudokirchneriella subcapitata*

Pseudokirchneriella subcapitata é uma alga unicelular típica de água doce encontrada na normativa de testes de inibição de crescimento realizados pela USEPA, pois apresenta elevada sensibilidade a metais pesados. Devido a esta característica, Machado et al. (2015) escolheu a *P. subcapitata* para estudar a sua resposta a longos períodos de exposição ao estresse de metais.

O estudo partiu de dados existentes indicativos de que esta alga verde é amplamente usada em avaliação de risco ecológico, com base nas características de crescimento da mesma. Machado et al. (2015), por sua vez, quiseram identificar as causas fisiológicas responsáveis por inibir o crescimento das algas expostas a metais. Para todos os metais testados, foi constatada a inibição da atividade de esterase, variando conforme à dose aplicada. Também observou-se redução do teor de clorofila, redução do rendimento quântico máximo do campo de fotossistema II e modificação mitocondrial da membrana potencial. No estudo foi concluído que a exposição de *P. subcapitata* a metais resulta em perturbação do status das células fisiológicas. A redução da clorofila *a* por longos períodos é o principal fator responsável por provocar a inibição do crescimento das algas.

Vannini et al. (2009) realizaram análise proteômica de *P. subcapitata* induzidas a modificações por cromato. Foram testadas duas diferentes concentrações de dicromato de potássio que representam taxas ambientais relevantes. Por serem consideravelmente baixas, nenhuma das concentrações testadas inibiram o crescimento da alga verde, porém os testes proteômicos indicaram modificações na expressão proteica que podem ser associadas às alterações na composição do pigmento fotossintético, indicando adaptação da antena do cloroplasto.

Os estudos apresentados anteriormente, realizados com a alga verde *P. subcapitata*, mostraram que essa alga tem um metabolismo capaz de indicar presença de metais pesados em água doce. Portanto, esta espécie pode ser considerada um excelente biomarcador da qualidade de vida aquática (VANNINI et al., 2009).

Ainda em relação a esta alga, Galdiero et al. (2015), realizou uma análise integrada dos efeitos ecológico e genotóxico do peptídeo antimicrobiano melitina. A melitina é um pequeno peptídeo de resíduo de 26 aminoácidos, e é o principal componente do veneno presente nas abelhas, ele pode ser usado na fabricação de antibióticos para seres humanos. A *P. subcapitata* apresentou efeitos de toxicidade e genotoxicidade, a uma dose de 20 µg/mL, quantidade extremamente superior ao que pode ser encontrado disponível no meio ambiente.

4.3 *Scenedesmus subspicatus*

Ma et al. (2003), escolheram como contaminante em seu estudo o cobre, devido ao fato de que o cobre é um elemento onipresente na natureza, por ser essencial no sustento de plantas e animais, incluindo a vida aquática. E, em contrapartida, a elevados níveis, esse elemento torna-se tóxico. Sendo assim, a contaminação ambiental causada pelo cobre (Cu) ganhou atenção especial nas últimas décadas.

No estudo desenvolvido, Ma et al. (2003) escolheram a alga unicelular de água doce *Scenedesmus subspicatus* para avaliar a toxicidade do Cu na presença do ácido etilenodiaminetetracético (EDTA), um ligante orgânico sintético, e do ácido fúlvico (FA), um ligante orgânico tipicamente natural. Como parâmetros de avaliação, os autores consideraram o acúmulo, a assimilação e a inibição do crescimento do cobre nas algas.

O resultado encontrado indicou que toxicidade aguda a cobre em algas unicelulares ocorre em decorrência do acúmulo em local discreto ou ligante biótico na parede celular destas algas, e um acúmulo crítico de Cu associado com CE_{50} (concentração de exposição) foi determinado como sendo na ordem de 1×10^{-8} μ M por célula (MA et al., 2003).

Em um estudo desenvolvido por Pavlić; Vidaković-Cifrek e Puntarić (2005), foi avaliada a ecotoxicidade de diferentes tensoativos comerciais em alguns tipos de microalgas verdes. Dentre as microalgas, foi estudada a *S. subspicatus*. O contaminante foi escolhido por estar presente em diferentes produtos de limpeza dos cabelos, os xampus. Além deles serem encontrados no uso doméstico, estão presentes na indústria de detergentes, de papel, têxtil e de cosméticos.

Os resultados obtidos por Pavlić; Vidaković-Cifrek e Puntarić (2005) mostraram que as concentrações dos tensoativos em xampus testados, os quais resultaram em 50% da redução do crescimento da alga verde planctônica, comparados com o controle, foram de 0,32 a 4,4 mg/L para os tensoativos e de 2,1 a 8,5 mg/L para os xampus. As análises realizadas considerando os efeitos tóxicos no meio ambiente possibilitaram aos autores concluir que todos os tensoativos utilizados podem ser classificados como tendo efeito tóxico na alga verde *Pseudokirchneriella subcapitata*, e que a maioria das substâncias testadas se classificaram como sendo muito tóxicas para as algas *S. subspicatus*.

O uso de *S. subspicatus* em experimentos não é recente, em 1997 Twist; Edwards e Codd analisaram a aplicação dessa alga como bioindicador de eutrofização na superfície de água corrente. O estudo usou algas imobilizadas com alginato e fez o biomonitoramento in situ para águas correntes. Os resultados mostraram que o crescimento das algas foi inversamente proporcional à taxa de fluxo do meio de crescimento sobre as células imobilizadas. Ou seja, a *S. subspicatus* comprovou ser um método durável e sensível para o monitoramento contínuo, da água, a partir do potencial de crescimento das algas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a poluição do meio ambiente, principalmente dos corpos hídricos, cada vez mais elevada devido a descartes inadequados de compostos orgânicos e inorgânicos, a identificação dos poluentes e, conseqüentemente, a busca por recuperação do meio torna-se um importante objeto de estudo nos dias atuais. Dessa forma as algas se enquadram como importantes espécies com caráter indicador de contaminação das águas. Sua adoção torna-se fácil, pois dentre suas várias espécies, elas são facilmente encontradas, podendo servir como importante ferramenta de avaliação da integridade ecológica.

Por si só, as algas apresentam caráter de purificação das águas, pois controlam a concentração de oxigênio e são capazes de remover nutrientes das águas armazenando-os na sua biomassa.

Quando o ambiente encontra-se com um elevado grau de poluição, as algas apresentaram fatores diretos ou mesmo indiretos que podem revelar tais fatores ambientais desregulados.

Apesar de algumas espécies serem conhecidas no campo da pesquisa há mais tempo, de maneira geral, os estudos feitos utilizando as algas como bioindicadores são consideravelmente recentes, e têm sido cada vez mais aplicados e aprimorados dentre as pesquisas.

O uso de algas como bioindicadores é uma maneira inteligente de avaliar a qualidade dos corpos hídricos. Estudos comprovam a eficácia de diferentes tipos de algas na indicação dos principais poluentes lançados junto a efluentes. Estas algas podem ser desde uni até pluricelulares, de água doce ou marinhas, o que possibilita realizar análises em ambientes distintos.

Além de indicar a situação ambiental, algas podem desempenhar o papel de remoção de determinados poluentes. Tal função gera uma redução de custos com análises de maior nível de complexidade e com o uso de outras ferramentas, podendo ser tão precisas quanto outros métodos.

Concomitante à função de indicador das algas é preciso desenvolver iniciativas que solucionem os problemas por elas indicados. Pois, um poluente ao desregular o ecossistema desencadeará uma série de problemas ambientais. Com relação as algas, por exemplo, pode haver a superpopulação ou mesmo a extinção destes seres no meio contaminado. Quanto antes forem feitas as identificações, mais rápido pode ser realizada a intervenção, gerando resultados mais eficazes e menos danos que possam ser irreversíveis ao meio.

Quanto à base de valores máximos permitidos das substâncias encontradas, pode ser tomado por referência os padrões de qualidade estabelecidos pelas Normas e Padrão de Potabilidade de Água para Consumo Humano no Brasil, disponível pelo Ministério da Saúde, o IQA supracitado ou mesmo as recomendações gerais da Organização Mundial da Saúde (OMS).

O controle de mananciais pode ser feito por pesquisadores por meio de florescimento algal. Este comportamento leva diretamente ao monitoramento de nutrientes em um lago, por exemplo, e sendo assim, ao seu controle. Sendo por meio da eliminação de águas pluviais carregadas, recarga de aquíferos contaminadas, lançamentos indesejados de despejos domésticos ou industrias sem tratamento. Assim podemos considerar que o controle leva diretamente à escolha da maneira adequada de realizar remoção dos cursores. Seja ela por meio de coagulação, adsorção ou mesmo pelo uso de tecnologias de tratamento mais específicas ao tipo de contaminante.

A maior vantagem do uso de algas como indicadores de qualidade de água em relação aos métodos físico-químicos tradicionais, é que as algas oferecem informações de efeitos ao longo de um período de tempo, enquanto os outros métodos comumente usados permitem apenas um conhecimento pontual num instante calculado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas, Portal do Governo Brasileiro. Disponível em: <portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 26 maio 2017.

AR GALL, E.; LE DUFF, M.; SAURIAU, P. G.; de CASAMAJOR, M. N.; GEVAERT, F.; POISSON, E.; HACQUEBART, P.; JONCOURT, Y.; BARILLÉ, A. L.; BUCHET, R.; BÉRET, M.; MIOSSEC, L., Implementation of a New Index to Assess Intertidal Seaweed Communities as Bioindicators for the European Water Framework Directory, **Ecological Indicators**, v. 60, p. 162-173, 2016.

BEDDOW, J.; JOHNSON, R. J.; LAWSON, T.; BRECKELS, M. N.; WEBSTER, R. J.; SMITH, B. E.; ROWLAND, S. J.; WHITBY, C., The effect of oil sands process-affected water and model naphthenic acids on photosynthesis and growth in *Emiliana huxleyi* and *Chlorella vulgaris*, **Chemosphere**, v. 145, p. 416-423, 2016.

BICUDO, C. E. de M.; MENEZES, M., **Gênero de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições**, Rima 2ed., São Carlos, 502p, 2006.

BURGUSS, R. M.; HO, K. T.; TAGLIABUE, M. D.; KUHN, A.; COMELETTO, R.; COMELETTO, P.; MODICA, G.; MORRISON, G., Toxicity Characterization of an Industrial and a Municipal Effluent Discharging to the Marine Environment, **Marine Pollution Bulletin**, v. 30, n. 8, p. 524-535, 1995.

CALICETI, M.; ARGESE, E.; SFRISO, A.; PAVONI, B., Heavy Metal Contamination in the Seaweed of the Venice Lagoon, **Chemosphere**, v. 47, p. 443-454, 2002.

CHEN, J.; SONG, D.; LUO, Q.; MOU, T.; YANG, R.; CHEN, H.; HE, S.; YAN, X., Determination of floridoside and isofloridoside in red algae by high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry, **Analytical Letters**, v. 47, p. 2307-2316, 2014.

COHN, F., Über den Brunnenfaden (*Crenothrix polyspora*) mit Bemerkungen fiber die mikroskopischen Analyse des Brunnenwassers. **Cohn's Beiträge zur Biologie der Pflanzen** 3, 1-108, 1870.

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

DOKULIL, M. T. Algae as ecological bio-indicators. **Trace metals and other contaminants in the environment**, v. 6, p. 285-327, 2003.

FIGUEIREDO, M. A. O.; BARRETO, M. B. B.; REIS, R. P., Caracterização das macroalgas nas comunidades marinhas da Área de Proteção Ambiental de Cairuçu, Parati, RJ – subsídios para futuros monitoramentos, **Brazilian Journal of Botany**, v. 27, n. 1, p. 11-17, 2004.

GALDIERO, E.; MASELLI, V.; FALANGA, A.; GESUELE, R.; GALDIERO, S.; FULGIONE, D.; GUIDA, M., Integrated analysis of the ecotoxicological and genotoxic effects of the antimicrobial peptide melittin on *Daphnia magna* and *Pseudokirchneriella subcapitata*, **Environmental Pollution**, v. 203, p. 145-152, 2015.

GOLDSTEIN, M. E., **Proceedings of the Fifth International Seaweed Symposium**, Halifax, p. 127, 1966.

GOULART, M. D.; CALLISTO, M., Bioindicadores de Qualidade de Água como Ferramenta em Estudos de Impacto Ambiental, **Revista da FAPAM** 2.1, p. 153-164, 2003.

JI, M. K.; KABRA, A. N.; CHOI, J.; HWANG, J. H.; KIM, J. R.; ABOU-SHANAB, R. A.I.; OH, Y. K.; JEON, B. H., Biodegradation of bisphenol A by the freshwater microalgae *Chlamydomonas mexicana* and *Chlorella vulgaris*, **Ecological Engineering**, v. 73, p. 260-269, 2014.

KUMAR, V. R.; MURUGESAN, S.; BHUVANESHWARI, S.; THENNARASAN, S., *In vitro* antibacterial effects of red alga *Champia parvula* (C. Agardh) of various solvents against human pathogenic bacteria, **International Journal of Advances in Pharmaceutics**, v. 4, n. 6, p. 111-116, 2015.

LAM, M. K.; YUSOFF, M. I.; UEMURA, Y.; LIM, J. W.; KHOO, C. G.; LEE, K. T.; ONG, H. C., Cultivation of *Chlorella vulgaris* Using Nutrients Source from Domestic Wastewater for Biodiesel Production: Growth Condition and Kinetic Studies, **Renewable Energy**, v. 103, p. 197-207, 2017.

MA, M.; ZHU, W.; WANG, Z.; WITKAMP, G. J., Accumulation, assimilation and growth inhibition of copper on freshwater alga (*Senedesmus subscatus* 86.81 SAG) in the presence of EDTA and fulvic acid, **Aquatic Toxicology**, v. 63, p. 221-228, 2003.

MACHADO, M. D.; LOPES, A. R.; SOARES, E. V., Responses of the alga *Pseudokirchneriella subcapitata* to long-term exposure to metal stress, **Journal of Hazardous Materials**, v. 296, p. 82-92, 2015.

MEZ, C., **Mikroskopische Wasseranalyse**. Springer Verlag, Berlin, 1898.

PAVLIĆ, Ž.; VIDAKOVIĆ-CIFREK, Ž.; PUNTARIĆ, D., Toxicity of surfactants to green microalgae *Pseudokirchneriella subcapitata* and *Senedesmus subspicatus* and to marine diatoms *Phaedactylum tricornutum* and *Skeletonema costatum*, **Chemosphere**, v. 61, p. 1061-1068, 2005.

DOS SANTOS, L. M. L.; CAMPOS, F. L., Macroalgas no Ensino de Ciências: Uma Abordagem Teórico-Prática em Escola Pública do Ensino Fundamental na Cidade de Parnaíba, Piauí. **Revista ESPACIOS**, v. 37, n. 23, 2016.

SCHELSKE, C.L., *In situ* and natural phytoplankton assemblage bioassays. Shubert, L.E., *Algae as Ecological Indicators*. **Academic Press**, London, p. 15-47, 1984.

SHOUBAKY, G. A., Comparison of the Impacts of Climate Change and Anthropogenic Disturbances on the El Arish Coast and Seaweed Vegetation After Ten Years in 2010, North Sinai, Egypt, **Oceanologia**, v. 55, n. 3, p. 663-685, 2013.

TWIST, H.; EDWARDS, A. C.; CODD, G. A., A novel *in-situ* biomonitor using algininate-immobilized algae (*Scenedesmus subspicatus*) for the assessment of eutrophication in flowing surface waters, **Water Research**, v. 31, n. 8, p. 2066-2072, 1997.

UNITED NATIONS, **Convention on Biological Diversity**, 1992, p. 28.

VANNINI, C.; MARSONI, M.; DOMINGO, G.; ANTOGNONI, F.; BIONDI, S.; BRACALE, M., Proteomic analysis of chromate-induced modifications in *Pseudokirchneriella subcapitata*, **Chemosphere**, v. 76, p. 1372-1379, 2009.

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. C., Algas: Da Economia nos Ambientes Aquáticos à Bioremediação e à Química Analítica, **Química Nova**, v. 27, n.1, p. 139-145, 2004.

WANG, L.; CHEN, X.; WANG, H.; ZHANG, Y.; TANG, Q.; LI, J., *Chlorella vulgaris* cultivation in sludge extracts from 2,4,6-TCP wastewater treatment for toxicity removal and utilization, **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 146-153, 2017.