

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS**

MICHELE EMY YAMASHITA

**TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: QUALIDADE
DE ÁGUA E MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2018

MICHELE EMY YAMASHITA



**TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: QUALIDADE
DE ÁGUA E MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Ensino de Ciências - Polo UAB do Município de Barueri, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA

Orientador: Prof. Dr. Ismael Laurindo Costa Junior

MEDIANEIRA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Transposição didática no ensino de Ciências: qualidade de água e manejo de recursos hídricos

Por

Michele Emy Yamashita

Esta monografia foi apresentada às..... h do dia..... **de..... de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Ensino de Ciências - Polo de Barueri, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Prof. Dr.
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientador)

Prof. Dr.
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof. Dr.
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-.

RESUMO

YAMASHITA, Michele Emy. **Transposição didática no ensino de Ciências: qualidade de água e manejo de recursos hídricos**. 2018. 45p. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

A transposição didática pode ser uma ferramenta interessante para a alfabetização científica, na medida em que possibilita a adaptação de pesquisas científicas reais para o ambiente pedagógico. O objetivo desse trabalho é propor uma transposição didática possível dentro do tema de qualidade de água e manejo de recursos hídricos. Para tanto, foi escolhido o terceiro maior sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), responsável pelo abastecimento de bairros da zona sul e sudoeste da RMSP: o sistema Guarapiranga. De acordo com a literatura, a represa Guarapiranga apresenta sinais de degradação da qualidade da água, com altos teores de nitrogênio, fósforo e clorofila a. Tais dados apontam para a necessidade de planos estruturais de longo prazo que visem solucionar as causas da eutrofização, além de planos de esgotamento sanitário, habitação e conscientização. Com a utilização de kits disponíveis no mercado, alunos e professores podem analisar variáveis limnológicas sem a necessidade de equipamentos de alto custo e especialização técnica, o que torna a proposta viável e atraente para o ensino de Ciências.

Palavras-chave: alfabetização científica; água; eutrofização; ensino.

ABSTRACT

YAMASHITA, Michele Emy. **Didactic transposition in science education: water quality and management of water resources**. 2018. 45p. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

Didactic transposition can be an interesting tool for scientific literacy, as it allows the adaptation of real scientific research to the pedagogical environment. The objective of this work is to propose a possible didactic transposition within the theme of water quality and water resources management. To this end, the third largest water supply system of the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP) was chosen, responsible for supplying neighborhoods in the south and southwest of the RMSP: the Guarapiranga system. According to the literature, the Guarapiranga dam shows signs of degradation of water quality, with high levels of nitrogen, phosphorus and chlorophyll a. These data point to the need for long-term structural plans aimed at solving the causes of eutrophication, as well as plans for sanitary sewage, housing and awareness. With the use of kits available in the market, students and teachers can analyze limnological variables without the need for expensive equipment and technical expertise, which makes the proposal feasible and attractive for teaching science.

Keywords: scientific literacy; water; eutrophication; teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Represas Guarapiranga e Billings com o Ponto da Transposição do Braço Taquacetuba para o Rio Parelheiros Representado pela Seta Vermelha.....	14
Figura 2 – Kit Técnico Água Doce/Salgada	18
Figura 3 – Cartela de Escala de Cores para Classes do TSI. Cada Cor Representa o Limite Superior de sua Respectiva Classe.....	30
Figura 4 – Kit para Detecção de Cobre em Água.....	34
Figura 5 – Esquema dos Componentes de um Espectrofotômetro.....	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE ENSINO	10
3. OBJETO DO SABER CIENTÍFICO: O RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA	12
4. VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E SUA TRANSPOSIÇÃO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS	17
4.1 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS.....	19
4.2 VARIÁVEL MICROBIOLÓGICA: FITOPLÂNCTON.....	25
4.3 ESTADO TRÓFICO	27
5. O SABER A SER ENSINADO: PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS	32
5.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO E PRODUÇÃO INICIAL	32
5.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS	33
5.3 OS PRINCÍPIOS DOS SENSORES QUÍMICOS COLORIMÉTRICOS	34
5.4 PRODUÇÃO FINAL E AVALIAÇÃO	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
7. REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

Água é um tema fundamental em saúde, educação ambiental, ecologia, política e economia. Qualidade de água e as ações públicas de manejo dos mananciais de abastecimento de água potável tem papel importante na saúde sanitária de uma região e devem ser sempre pauta de discussão e conhecimento público. Partindo desse ponto, são inúmeras as possibilidades de aula e projetos pedagógicos que podem ser desenvolvidas a respeito da importância dos recursos hídricos e das políticas de manejo, especialmente quando diz respeito direto ao contexto social dos alunos.

É comum que o ensino de Ciências limite-se a apresentar seus produtos (conceitos gerais, conclusões válidas para a maioria dos casos), sem promover a essência investigativa e contextual da Ciência. Baseando-se no princípio de que o ensino de Ciências deve promover o contato do aluno com o mundo, possibilitando a compreensão da realidade que o cerca, a utilização de aulas práticas é um recurso recorrente.

No ensino de Ciências, as aulas práticas podem ter um papel importante, pois possibilitam pensar sobre o mundo de formas diferentes, ampliando o conhecimento sobre o objeto estudado e estimulando habilidades, como a observação, a obtenção e a organização de dados, assim como a reflexão e a síntese de ideias. Neste trabalho a expressão “atividade prática” tem um sentido amplo, podendo incluir atividades laboratoriais, atividades de campo, atividades experimentais, etc.

De forma geral, é evidente o papel de destaque que atividades práticas têm, tanto do ponto de vista dos professores quanto dos alunos, em função da motivação que elas trazem ao processo de ensino aprendizagem. Além do papel motivador, aulas práticas podem ajudar no desenvolvimento de conceitos e métodos científicos, além de permitir que os estudantes aprendam como abordar objetivamente o seu mundo e como desenvolver soluções para problemas complexos.

Levando-se em conta que Ciência sempre acontece em tempo e espaços definidos para responder a perguntas específicas, é interessante que as aulas de Ciência contemplem isso em algum momento, aproximando o aluno do seu contexto. Neste sentido, parte-se de pesquisas de um sistema de água particular, o Sistema

Guarapiranga, responsável pelo abastecimento de cerca de quatro milhões de pessoas na cidade de São Paulo e região metropolitana.

O objetivo desse trabalho é propor uma transposição didática possível dentro do tema de qualidade de água e manejo de recursos hídricos, a partir de pesquisas científicas reais, levando em consideração contexto, interdisciplinariedade e alfabetização científica. São delineadas possibilidades de atividades práticas como parte fundamental desta proposta e que serão importantes nos conceitos científicos desenvolvidos. Procura-se ainda contornar as deficiências comum ao ensino de Ciências, onde há uma visão pouco realista, descontextualizada e que dificultam o ensino e a compreensão da importância dos recursos hídricos a nível local.

Este trabalho também tem intuito de servir como guia para o professor, dando uma ideia geral de como pesquisas em reservatórios e mananciais são feitas, quais parâmetros adotados e quais as metodologias adotadas em pesquisas reais.

A princípio, a proposta foi visualizada para aplicação em projetos desenvolvidos no ensino médio, pois envolve conceitos químicos e biológicos complexos, todavia é perfeitamente viável abordar o tema de qualidade de água no ensino fundamental, com análise de variáveis limnológicas, desde que feitas as simplificações e adaptações pertinentes no conteúdo teórico.

2. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE ENSINO

A expressão “Transposição Didática” foi primeiramente proposta pelo sociólogo MICHEL VERRET (1975) em estudo sobre as necessidades para o ensino. YVES CHEVALLARD (1991), professor de matemática, sistematiza as concepções propostas por Verret, desenvolvendo a teoria da Transposição Didática. Ela consiste na transformação de um objeto do saber científico em um objeto de ensino. É um processo no qual os conhecimentos científicos sofrem transformações adaptativas e simplificações tornando-se um conhecimento mais pertinente aos objetivos da instituição escolar (CARNEIRO, 2009).

Chevallard emprega o termo no contexto específico do ensino da matemática e diz que todo saber é institucional. Assim, sua teoria diz respeito às transformações do saber na passagem de uma instituição a outra, desde a instituição científica às instituições que elaboram programas curriculares e materiais didáticos. Embora sua teoria tenha um aspecto circunstancial próprio ao campo epistemológico da matemática, o modelo teórico da “transposição didática” ajuda a refletir sobre quais conteúdos são priorizados no contexto do ensino de Ciências e com quais abordagens para manter sua correspondência com a natureza do conhecimento científico. Neste trabalho a proposta de transposição didática se baseia em três conceitos: contextualização, interdisciplinariedade e alfabetização científica.

A contextualização reside em vincular o conhecimento à sua origem e à sua aplicação. Isso significa que o ensino deve levar em conta o cotidiano e a realidade de cada região e as experiências vividas pelos alunos. A contextualização do conhecimento é relevante porque traz significado real para os alunos e permite que eles vislumbrem como podem usar o conhecimento para atuar como cidadãos.

Na cidade de São Paulo, quatro sistemas são responsáveis pelo abastecimento de água: sistema Cantareira, sistema Alto Tietê, Reservatório Rio Claro (que faz parte do complexo Billings) e o Sistema Guarapiranga. Seria interessante que o sistema de abastecimento estudado fosse correspondente a localização da escola, o que significa que o Sistema Guarapiranga corresponde as comunidades da zona sul de São Paulo.

Um tema amplo como o de qualidade de água possibilita que muitas áreas do conhecimento sejam abordadas, como a Física (variáveis limnológicas físicas como temperatura e turbidez), Matemática (análise de dados, formulação de gráficos,

Geografia (relevo e altura da represa, densidade populacional do entrono, zona de drenagem, etc), Biologia (comunidade fitoplanctônica, eutrofização), Química (variáveis químicas, ciclo do cobre, contaminação da água, etc). Desta maneira, pode ser desenvolvido um projeto interdisciplinar, com participação de diversos professores. A interdisciplinaridade é interessante, pois o saber científico mobiliza necessariamente diversos conhecimentos e transpor isso para a sala de aula oferece uma nova postura diante do conhecimento. A interdisciplinaridade visa garantir a construção de um conhecimento globalizante, rompendo com os limites das disciplinas e dando uma visão mais integral dos objetos estudados.

A transposição didática de uma pesquisa científica deve ter como foco, além do ensino dos conteúdos, a alfabetização científica. Essa alfabetização consiste em possibilitar ao aluno adquirir um vocabulário associado a conceitos científicos, compreender a natureza da metodologia científica e a entender o potencial transformador da ciência e da tecnologia sobre os indivíduos e a sociedade. Ser alfabetizado cientificamente também pode vir a ser entendida como a “capacidade de ler, compreender e expressar opinião sobre assuntos de caráter científico” (MILLER, 1983 p. 30).

Como proposta de atividade prática em campo, há possibilidade de um protocolo simplificado de análise de qualidade de água, com coleta de água do reservatório. Na falta de recursos para saída e atividade *in situ*, os alunos podem ainda realizar análise de água direto da rede de abastecimento (ver tópico 5).

3. OBJETO DO SABER CIENTÍFICO: O RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA

Represas ou reservatórios são ecossistemas artificiais, com características próprias. Intermediários entre rios e lagos, podem assumir características ecológicas parecidas com as dos ecossistemas lóticos, quando o tempo de residência é de dias ou semanas, ou lênticos, quando o tempo de residência é de meses ou anos (HENRY et al. 1998). O Sistema Guarapiranga é um sistema lêntico de abastecimento de água potável. O manancial do Guarapiranga situa-se a 23°43' S e 46°32' W, a uma altitude entre 700 e 930 metros (MELCHOR et al., 1974). A bacia do Reservatório Guarapiranga pertence à bacia do Rio Pinheiros, que por sua vez é uma sub-bacia dentro da região da bacia do Alto Tietê.

O rio Pinheiros tem dois grandes tributários, o Rio Guarapiranga e o Rio Grande. O represamento deles deu origem, respectivamente, ao reservatório Guarapiranga e ao reservatório Billings. A Represa Guarapiranga foi construída entre 1906 e 1908, com o objetivo inicial de aumentar a capacidade de gerar energia na usina de Parnaíba, no rio Tietê. A construção da barragem custou o alagamento de uma grande área de Mata Atlântica (WHATELY; CUNHA, 2006a) e a represa foi integrada ao sistema de abastecimento de água para a cidade de São Paulo em 1927.

Sistema Guarapiranga é o terceiro maior sistema de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), localizado na zona sul do município de São Paulo, possui uma capacidade de armazenamento de 171 bilhões de litros de água. O maior sistema fornecedor de água da região metropolitana de São Paulo é o Sistema Cantareira, seguido pelo Sistema Alto Tietê (SABESP, 2018).

Atualmente, águas são transpostas de duas bacias para o Guarapiranga. Há o sistema de reversão do Rio Capivari-Monos, iniciado em 1963, e o braço Taquacetuba, que transfere águas da Billings para o sistema Guarapiranga desde 2000. Portanto, o Sistema Guarapiranga é composto pela represa Guarapiranga, pela Represa Billings (Braço Taquacetuba) e pela reversão (cerca de 1 m³ por segundo de água) do Rio Capivari para o Rio Embu-Guaçu (SABESP, 2018).

As represas Billings e Guarapiranga são responsáveis pelo fornecimento de água para grande parte da região metropolitana de São Paulo (RMSP), onde a Billings é a maior reservatório e o Guarapiranga é o terceiro maior sistema de

abastecimento (CETESB, 2002). Suas águas são tratadas na Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista antes de serem encaminhadas para abastecer parcialmente os bairros da zona sul e sudoeste da RMSP.

O reservatório Guarapiranga é de propriedade da Empresa Metropolitana de Águas e Energia – EMAE e apresenta 3 grandes afluentes contribuintes: os rios Embu-Mirim, Embu-Guaçu e o Parelheiros. Outros cursos menores de água também convergem para a represa como o Rio Bonito, Rio das Pedras, Rio São José, Tanquinho, Guavirutuba, Mombaça e Itupu. O reservatório produz, em média, 14 mil litros de água por segundo para atender cerca de 3,7 milhões de habitantes (20% da população da RMSP) (WHATELY; CUNHA, 2006b).

A partir do ano 2000, em decorrência da deficiência de água para o abastecimento da RMSP, teve início a transposição de água do Braço Taquacetuba da Billings para a Represa Guarapiranga (CETESB 2002) – ver figura 1. A vazão do manancial em 2007 estava em 10 m^3 por segundo e a SABESP capta cerca de 12 m^3 por segundo para o abastecimento. Para suprir esta diferença, são bombeados do Sistema Billings (braço do Taquacetuba) 4 m^3 por segundo (RICHTER et al., 2007) para o Rio Parelheiros.

Algumas razões para escolha desse braço da Billings são a qualidade da água, seu afastamento do corpo principal e por estar em área já desmatada. As condições topológicas e geológicas das margens também foram fatores de escolha. O braço Taquacetuba contribui com cerca de 29% do total na produção de água no sistema Guarapiranga e o rio Capivari, com cerca de 7% (WHATELY; CUNHA, 2006b).

De responsabilidade da SABESP, a Estação Elevatória do Capivari, inicialmente projetada para gerar energia, tem como função bombear a água das partes baixas do Rio Capivari para o reservatório Guarapiranga. A bacia do Capivari-Monos localiza-se no extremo Sul do município de São Paulo, dentro de Área de Proteção Ambiental (APA). Ainda pouco ocupada, apresenta uma qualidade de água, na média, melhor que a da Billings e do Guarapiranga. A proteção desta bacia hidrográfica tem, portanto, importância estratégica e a APA Capivari-Monos abriga também as cabeceiras do rio Embu-Guaçu, o maior tributário do reservatório Guarapiranga.

A bacia hidrográfica do reservatório está inserida em Área de Proteção aos Mananciais, desde 1975, por efeito de legislação estadual (lei nº 898/1975). Com a

promulgação da lei estadual nº 1.172/1976, as faixas de restrição são delimitadas e mapeadas e são apresentados parâmetros de ocupação, estabelecendo áreas impróprias e próprias para ocupação, tanto urbana como rural. Tanto o sistema Guarapiranga quanto o sistema Billings têm regulamentações próprias, levando em conta o uso da água em suas bacias (SÃO PAULO, 2006).

Figura 1 – Represas Guarapiranga e Billings com o ponto da transposição do Braço Taquacetuba para o Rio Parelheiros representado pela seta vermelha.



Fonte: Acervo próprio (2017)

A legislação, bastante restritiva em relação às possibilidades de uso e ocupação do solo nas bacias protegidas, foi incapaz de deter o crescimento populacional nas periferias da mancha urbana metropolitana, em áreas fortemente pressionadas pela “explosão demográfica” que caracterizou o período das décadas de 50 a 70 e acompanhou o intenso processo de desenvolvimento industrial da metrópole.

A diminuição da qualidade da água dessa represa, decorrente do esgoto e da poluição difusa, evidenciou-se na década de 1970. O declínio da qualidade da água do Reservatório Guarapiranga ficou evidente com o processo de eutrofização acelerado pela entrada de fertilizantes utilizados em culturas na bacia hidrográfica, lixiviação de áreas de pastagens e despejo de efluentes industriais e domésticos, resultando no enriquecimento de seu corpo hídrico, especialmente em nutrientes como fósforo e nitrogênio.

O reservatório Guarapiranga é raso, o que também favorece o acúmulo de poluentes. Outrossim, sistemas rasos podem ser bastante suscetíveis a recirculação de nutrientes quando não se apresentam estratificados por temperatura, de forma que a agitação do sedimento cria um sistema autofertilizante (BICUDO et al., 2007).

Esses fatores contribuem para a proliferação sazonal do fitoplâncton, onde cianobactérias, potenciais produtoras de cianotoxinas, prejudiciais à saúde animal e humana, podem estar presentes. Uma vez presente em altas quantidades em um manancial, além de produzir toxinas, as cianobactérias colaboram para o aumento na quantidade de matéria orgânica no ambiente aquático, o que também gera risco para a saúde da população consumidora da água tratada que provém do manancial

A partir da década de 80, florações de diatomáceas e cianobactérias passaram a ser frequentes, prejudicando o processo de tratamento da água destinado ao abastecimento público (RODRIGUES, 2008). As florações de algas passaram a influenciar o processo de tratamento da água, causando entupimento de filtros, demora na filtração e sabor e odor desagradáveis.

Atualmente, a represa se mantém eutrofizada e desde 1976 a aplicação do algicida sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) é o principal procedimento no controle algal. Mais recentemente, também é adotado o peróxido de hidrogênio no manejo do crescimento fitoplanctônico, especialmente de cianobactérias (CALEFFI, 2000).

A ocupação da bacia é heterogênea, apresentando áreas totalmente urbanizadas e remanescentes da Mata Atlântica. Há manchas de vegetação de entorno próximas à margem do reservatório, dois parques ecológicos com áreas voltadas a proteção que representam 0,6% da bacia e Unidades de Conservação de proteção integral correspondem a apenas 1,2% da área da bacia (WHATELY; CUNHA, 2006b). A população ocupando seu entorno corresponde a cerca de 800 mil habitantes. Os usos antrópicos na bacia da Guarapiranga incluem atividades de

mineração, esportes náutico, atividades agrícolas e alguns polos industriais nas regiões leste, norte e noroeste da represa.

A área de drenagem do Guarapiranga é dendrítica, alongada e estreita, o que favorece os efeitos antrópicos pela intensa ocupação desordenada nas áreas de mananciais. Este problema, aliado aos inúmeros outros existentes nesta bacia, torna cada vez mais importante seu monitoramento contínuo.

4. VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E SUA TRANSPOSIÇÃO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

No estudo de ecossistemas aquáticos são inúmeras as variáveis que podem ser analisadas. A Resolução nº 357 (2005) do CONAMA, define parâmetros físico-químicos e microbiológicos para estabelecer o grau de potabilidade de águas de abastecimento para uso doméstico e industrial. São quatro classes de potabilidade, sendo que as três primeiras podem ser usadas para abastecimento humano após tratamento simplificado, convencional ou avançado.

No programa de monitoramento da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) faz uso de cerca de sessenta variáveis de qualidade da água (variáveis físicas, químicas, hidrobiológicas, microbiológicas e ecotoxicológicas).

Equipes de laboratórios profissionais de análise de água habitualmente utilizam sondas multiparâmetro para coleta de dados *in situ* e em tempo real, o que aumenta a precisão dos dados. As sondas são equipamentos portáteis com display em LCD, com memória para armazenamento de informações, GPS e barômetro. O princípio de funcionamento desses aparelhos consiste em múltiplos sensores dotados de eletrodos específicos para cada variável. Os sensores constituem-se como dispositivos mantidos em potencial fixo e que geram sinais de corrente proporcionais à concentração da substância, em função das interações eletroquímicas que ocorrem na interface eletrodo/solução.

As sondas têm a vantagem de permitirem medidas rápidas e em muitos postos de coletas. As sondas usadas no Brasil são importadas, com alto custo médio, variando de aproximadamente US\$ 4.500,00 (por importação direta), enquanto que as mais sofisticadas, têm custo estimado que pode chegar a cerca de US\$ 15.000,00. Podem medir com rapidez diversas variáveis: temperatura, profundidade, condutividade elétrica, salinidade, potencial de oxidação-redução, sólidos totais, pH, ortofosfato, oxigênio dissolvido, turbidez, clorofila-a, cianobactérias, amônio, nitrato, cloreto, luz ambiente (POMPÊO, CARDOSO-SILVA & MOSCHINI-CARLOS., 2015).

Outro equipamento muito usado em laboratórios é o espectrofotômetro, muito utilizado para avaliar as concentrações de nutrientes dissolvidos e pigmentos. Espectrofotômetro é um aparelho de análises óptica baseado na medida quantitativa

da absorção da luz pelas soluções, onde a concentração é proporcional à quantidade de luz absorvida.

De maneira geral, o pacote mínimo de variáveis para avaliação da qualidade da água incluem: temperatura, teor de oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, turbidez, teores de nutrientes (dissolvidos e totais para nitrogênio e fósforo) e teor de material em suspensão (total e frações orgânica e inorgânica) (POMPÊO, CARDOSO-SILVA & MOSCHINI-CARLOS., 2015).

Há, no mercado, vários kits de determinação de qualidade de água que contemplam algumas das variáveis mínimas para avaliação hídrica de abastecimento. São kits comumente vendidos para o ramo da aquicultura como piscicultura, carcinicultura, algicultura, entre outros. Ademais, há kits específicos para ambiente pedagógico, contemplando ensino fundamental e médio, sem uso de substâncias potencialmente perigosas, oferecidas por fabricantes como Alfakit® (ver figura 2).

Figura 2 – Kit Técnico Água Doce/Salgada



Fonte: <https://alfakit.com.br/produtos/ecokit-tecnico-agua-doce-salgada-com-analise-microbiologica-cod-6683/>

Os kits têm custo variável, indo de cerca de R\$ 300,00 a R\$ 800,00 para os didáticos, entre R\$1000,00 a R\$2000,00 para os kits técnicos mais sofisticados e cerca de R\$ 4000,00 para os kits de aquicultura. Os kits dispõem de material suficiente para serem realizados vários testes (20 a 100 repetições dependendo do kit) para cada parâmetro. O baixo custo, a praticidade e eficiência esperadas desses kits, possibilitam sua replicação em ambiente didático. A utilização de métodos e equipamentos simplificados é uma alternativa viável ao laboratório e mão de obra especializados, de elevados custos financeiros para implementação e manutenção.

A seguir são apontadas e explicadas algumas variáveis mais importantes usadas em limnologia e como são os métodos de baixo custo empregados para estimar seus valores.

4.1 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

A temperatura influencia as reações químicas na água e por isso corpos de água fria tem maior capacidade de reter o oxigênio dissolvido em relação a águas com temperatura mais quente, além de também alterar a densidade (NOGUEIRA, COSTA & PEREIRA, 2015). As diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, formando uma barreira física que impede que se misturem, criando a estratificação térmica. Dessa forma, a temperatura é uma variável que afeta potencialmente todas as outras e sempre deve ser medida. Para essa variável são recomendados os termômetros químicos, em geral, disponibilizados nos kits de análise de água.

O oxigênio dissolvido (OD) provém em parte da atmosfera — oxigênio do ar se dissolve nas águas naturais devido à diferença de pressão parcial. Outra fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas (NOGUEIRA, COSTA & PEREIRA, 2015). Em águas eutrofizadas, que são aquelas em que a decomposição dos compostos orgânicos lançados levou à liberação de sais no meio, especialmente os de nitrogênio e fósforo, levando a grande aumento da biomassa algal, o oxigênio presente na água pode estar acima do ponto de saturação. Por outro lado, corpos hídricos poluídos podem apresentar baixas concentrações de OD, devido a sua depleção na decomposição de compostos orgânicos. A própria proliferação das algas pode ter um efeito negativo sobre o oxigênio dissolvido, fornecendo matéria

orgânica para bactérias aeróbicas que podem consumir grandes quantidades de oxigênio (BEGUELLI et al., 2015). Segundo resolução 357/05, os valores de OD para águas classe 1, em qualquer amostra, não pode ser inferior a 6 mg/L e para classe 2, não inferior a 5 mg/L.

Outro fator importante que diz respeito a capacidade do corpo hídrico de reter oxigênio e que deve ser levado em conta em pesquisas rigorosas é a porcentagem de oxigênio dissolvido (OD%). Para o cálculo da porcentagem do oxigênio dissolvido, os valores de OD são convertidos usando a solubilidade do gás em relação à temperatura da água e é aplicado um fator de correção da pressão parcial para a altitude (SCHÄFER, 1985). Corpos hídricos eutrofizado podem apresentar concentrações de oxigênio bem superiores ao ponto de saturação (~10 mg/L para 20°C), caracterizando uma situação de supersaturação. Isto ocorre principalmente em lagos e reservatórios com grande tempo de residência e alta produção primária (CETESB, 2008).

Nos kits o OD é medido basicamente por duas formas diferentes: por titulação e com uso de sensor (colorimétrico ou eletroquímico). O método de titulação é conhecido como método WINKLER (1888), modificado por GOLTERMAN et al., 1978). Neste método, iodeto de potássio e hidróxido manganoso são adicionados e o oxigênio da água reage com hidróxido manganoso formando um precipitado. Adiciona-se ácido sulfúrico à solução, então o precipitado dissolve-se em meio ácido, originando iodo. O iodo é equivalente quimicamente a quantidade de oxigênio dissolvido presente na amostra e é determinado por titulação com uma solução padrão de tiosulfato de sódio. A diferença para os kits didáticos é que não se usa ácido sulfúrico, sendo substituído por ácido mais fraco. Kits mais sofisticados dispõem de oxímetros, cujo princípio é basicamente o mesmo da sonda, com uso eletrodo que reage com o OD gerando uma corrente que é proporcional à quantidade de oxigênio (FERREIRA, 2007).

O pH é uma variável abiótica importante nos ecossistemas aquáticos de difícil interpretação pela quantidade de fatores que o podem afetar. Grosso modo, o pH de um corpo hídrico pode variar de uma faixa ácida, devido principalmente à contribuição da decomposição da matéria orgânica e influência da poluição, até alcalina, devido principalmente à contribuição geológica da região (NOGUEIRA, COSTA & PEREIRA, 2015). Na resolução CONAMA 357/2005, o padrão de qualidade de águas deve apresentar valor de pH entre 6 e 9 para todas as classes

de águas doces. Os valores de pH também estão relacionados a atividade dos organismos fotossintetizantes, uma vez que a retirada de gás carbônico da água altera a alcalinidade, resultando em aumento nos valores de pH.

Tiras de papel medidoras de pH ou pHmetros digitais estão disponíveis nos kits. As tiras de pH consistem num filtro de papel impregnado com indicadores coloridos correspondentes a escala de pH, não necessitam de nenhuma calibração ou manutenção e são muito baratas e práticas de usar, embora só trabalhe com faixas de valores. O pHmetro ou medidor de pH é um aparelho constituído basicamente por um eletrodo e um potenciômetro. Quando o eletrodo é submerso na solução, é produzida uma pequena voltagem com base na atividade do íon hidrogênio que é traduzida em valores de pH (CAMELO, FREITAS & ANDRADE, 2017).

A condutividade elétrica (EC) é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica, dependente das concentrações iônicas e da temperatura. Indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes (NOGUEIRA, COSTA & PEREIRA, 2015). Os valores de EC são medidos unidades de Siemens por cm (S/cm), uma unidade do sistema internacional que expressa condutância elétrica. Medidores de condutividade elétrica portáteis para soluções, em geral para uso em hidroponia, estão disponíveis no mercado e são relativamente baratos, entre R\$40,00 a R\$300,00.

A turbidez de uma amostra de água mede a atenuação sofrida por um feixe de luz ao atravessá-la, o que acontece devido a absorção e ao espalhamento da luz pelas partículas presentes na água, uma vez que as partículas são maiores que o comprimento de onda da luz branca. É causada por materiais sólidos em suspensão como silte, argila, coloides, matéria orgânica, etc. Em alguns casos, águas ricas em íons Fe^{+} podem apresentar uma turbidez elevada, devido a modificação da coloração da água quando o ferro entra em contato com o oxigênio (CORCÓVIA & CELLIGOI, 2012).

O tamanho das partículas pode interferir na turbidez, pois partículas maiores tendem a decantar, enquanto as menores permanecem em suspensão e. Turbidímetros nefelométricos medem a turbidez com base no retroespalhamento da luz e os valores são expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (SABESP NTS 008, 1999). Assim sendo, se o material suspenso tiver granulação

muita baixa a turbidez poderá apontar para valores altos e o teor de sólidos suspensos para valores baixos. No caso de presença de material grosseiro a situação se inverterá (CHAGAS, 2015).

Os valores de UNT são de até 40 unidades nefelométricas para águas de classe 1 e até 100 para classe 2. Turbidímetros digitais portáteis são dispositivos usualmente caros e por isso alguns kits apresentam apenas cartela de comparação visual com faixa entre 50 – 100 – 200 UNT. O método de comparação visual é frequentemente bastante inexato e oferece poucas faixas com intervalos de valores, o que os torna muito pouco informativos.

Os sólidos em suspensão (SS) são partículas que permanecem suspensas na água devido à movimentação da água, ou porque a densidade da partícula é inferior ou igual à da água. Para sua medida, é pesada a porção dos sólidos totais que fica retida em um filtro após secagem. A UNT da água tende a aumentar com o aumento da concentração de SS, por isso esses dois parâmetros devem ser contrapostos (CHAGAS, 2015).

A medição dos sólidos suspensos é importante para definir as condições ambientais, estes sólidos podem influenciar a vida aquática, como por exemplo, a diminuição da incidência de luz e aumento da sedimentação no leito dos rios e outros corpos hídricos (CETESB, 2008). Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Em geral, kits didáticos não dispõem de métodos eficientes para aferir os SS pois é uma variável que requer estufa de secagem e balanças de precisão.

O nitrogênio é um elemento encontrado nos corpos de água na forma reduzida como nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, amins, aminoácidos, etc.), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos), cátion amônio (NH_4^+) e na forma oxidada como nitrato (NO_3^-) ou nitrito (NO_2^-). O balanço de oxigênio e o balanço térmico têm importante papel nos processos do ciclo do nitrogênio. A concentração de oxigênio determina os processos de oxidação e redução dos compostos nitrogenados, e a temperatura acelera ou diminui a velocidade das reações químicas e dos processos biológicos. O nitrogênio é considerado um fator limitante em concentrações apenas abaixo de 0,015 mg/L (LEE; JONES LEE, 1998).

A amônia (NH_3) está presente naturalmente nos corpos hídricos como resultado da excreção da biota, redução do nitrogênio gasoso da água por micro-

organismos ou por trocas gasosas com a atmosfera. A amônia é, também, constituinte comum no esgoto sanitário, resultado direto de descargas de efluentes domésticos e industriais, da hidrólise da ureia e da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados (ESTEVES, 1998).

A amônia existe em soluções aquosas em equilíbrio químico com sua forma protonada (NH_4^+) e com sua forma de base (NH_4OH). No ciclo do nitrogênio, a amônia pode ser nitrificada para nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) por bactérias quimioautotróficas. Dentre as diferentes formas de nitrogênio, o nitrato (NO_3^-) e o íon amônio (NH_4^+) assumem grande importância nos ambientes aquáticos porque ambos representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários (RUCKERT; GIANI, 2004).

A concentração e distribuição das formas de nitrogênio estão possivelmente relacionada com a concentração de oxigênio da água e com a ação bacteriana. Segundo ESTEVES (1998) o nitrito (NO_2^-) é encontrado em baixas concentrações principalmente em ambientes oxigenados. Em ambientes anaeróbicos, é mais provável encontrar altas concentrações desse íon. Em águas naturais, as concentrações de NO_2^- são frequentemente muito baixas, raramente mais altas que 1 mg/L, pois estes são instáveis, oxidando-se rapidamente a NO_3^- . Dessa forma, pode-se associar a distância do foco da poluição com as formas de nitrogênio. Predominância das formas reduzidas indica que o foco de poluição se encontra próximo. Se prevalecer nitrito e nitrato, ao contrário, é mais provável que as descargas de esgotos se encontrem distantes.

Segundo resolução CONAMA 357/05, as concentrações de nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) devem alcançar como valores máximos de respectivamente 10,0 mg/L e 1,0 mg/L. para águas doces de classe 1.

O fósforo está presente nos corpos hídricos na forma particulada e dissolvida e é um nutriente importante para os organismos vivos. De forma geral, é o nutriente limitante para o crescimento algal e, dessa forma, controla a produtividade primária em corpos d'água. Baixas concentrações de fósforo podem ser resultado da própria assimilação do fitoplâncton. Dessa forma, é apontado como o principal nutriente responsável pela eutrofização, já que participa de processos fundamentais no metabolismo dos seres vivos, como o armazenamento de energia e a formação da membrana celular (ESTEVES, 1998).

O fósforo orgânico provém das excreções humanas e de animais, como também de restos de alimentos. Quando os compostos orgânicos sofrem decomposição biológica, dão origem a ortofosfatos (P-orto) ou fosfato inorgânico dissolvido. Ortofosfato é a principal forma de fósforo assimilada pelos organismos fotossintetizantes aquáticos, portanto, sua quantificação em pesquisas limnológicas é importante. A resolução CONAMA 357/05 não estipula limites para o ortofosfato e como o P-orto é prontamente assimilado, geralmente suas concentrações no ambiente são baixas (BOUVY et al., 2003).

Nos lagos tropicais, devido à alta temperatura da água, o metabolismo dos organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o P-orto (fósforo inorgânico dissolvido) seja ainda mais rapidamente assimilado e incorporado na sua biomassa.

O princípio de quantificação dos métodos simplificados para fósforo e nitrogênio baseados em comparação visual consistem ou em fitas que depois de emersas na água a ser analisada desenvolvem coloração ou são tomadas amostras de água em frascos padronizados e adicionadas pequenas porções de reagentes que farão a solução adquirir coloração. A intensidade da coloração é em seguida comparada a cartela com escala de cores, permitindo estimar faixas quantitativas do elemento analisado.

Para as concentrações de nitrito e nitrato utiliza-se comumente nos kits o método do N-(1-naftil)-etilenodiamina (método NTD). Nele o nitrito é determinado através da formação de um composto de coloração púrpura avermelhada em pH ácido, pela reação do ácido sulfanílico com o diloreto de N-(1-Naftil)-etilenodiamino. Já o nitrogênio amoniacal (amônia) pode ser estimado através do azul de indofenol. O método do indofenol se baseia na formação do composto azul intenso de indofenol, resultante da reação da amônia com um composto fenólico na presença de um agente oxidante e catalisador. A determinação da concentração de ortofosfato e fosfato é feita pela técnica do azul de molibdênio. O método consiste na formação de um complexo colorido entre o ânion fosfato com um composto de molibdato em uma solução ácida.

Além de serem métodos semiquantitativos, onde só é possível estimar faixas de valores para as concentrações, é importante apontar que há problemas na avaliação dos teores das frações de nitrogênio e fósforo em alguns kits, pois os valores mínimos determinados nas cartelas colorimétricas são elevados e muitas

vezes superiores aos teores normalmente encontrados nos reservatórios, mesmo naqueles sabidamente eutróficos (POMPÊO, CARDOSO-SILVA & MOSCHINI-CARLOS., 2015).

4.2 VARIÁVEL MICROBIOLÓGICA: FITOPLÂNCTON

O fitoplâncton compreende a parte fotossintetizante do plâncton e inclui diversos grupos taxonômicos com grande variedade morfológica. Os organismos que constituem o fitoplâncton vivem em suspensão na coluna d'água e possuem um ciclo de vida rápido. As clorofíceas, cianobactérias e diatomáceas foram componentes importantes desta comunidade. Chlorophyceae é uma das classes de algas verdes conhecida por sua grande variedade de morfologia vegetativa e grande representatividade quanto ao número de táxons em corpos aquáticos tropicais, especialmente os lacustres (ESTEVES, 1998).

De forma geral, as represas brasileiras são ecossistemas favoráveis para a expansão das florações de algas e cianobactérias, pois são comumente rasas e facilmente eutrofizadas devido as precárias condições sanitárias e crescimento populacional desordenado (RODRIGUES et al. 2010). Como resultado da falta de manejo adequado desses ambientes, observa-se o crescimento relativo acelerado de algumas classes de fitoplâncton, com predominância de espécies tóxicas de cianofíceas.

O fitoplâncton é bastante sensível, respondendo rapidamente às alterações ambientais decorrentes da interferência natural ou antrópica (CARVALHO, 2007). A sua estrutura, composição, taxa de crescimento e dinâmica populacional são influenciadas pelas características morfológicas, tempo de residência e gradientes verticais do corpo hídrico. Esta comunidade também é fortemente influenciada por entradas sazonais de fontes externas de sedimentos e nutrientes (HENRY et al. 1998).

Uma vez o fitoplâncton presente em grandes concentrações em um reservatório, além de produzir toxinas e diminuir o oxigênio dissolvido, o excesso de biomassa algal impede a penetração da luz na água e colabora para o aumento na quantidade de matéria orgânica no manancial, resultado da morte de grande número de algas. RODRIGUES et al. (2010) afirmam que apesar da importância dessas

represas para o abastecimento público da RMSP e da importância da comunidade fitoplanctônica para o monitoramento da qualidade de suas águas, a composição de espécies dessa comunidade mencionada era ainda muito pouco conhecida.

Cianobactérias e as algas verdes, estão aptas a colonizar a maioria dos ambientes aquáticos. Depois das bactérias, são provavelmente os organismos aquáticos de distribuição mais ampla, exercendo um papel importante como produtores primários.

Como já mencionado, por volta da década de 70, as florações ou “blooms” de cianobactérias começaram a se tornar comuns no reservatório Guarapiranga. O termo “florações de cianobactérias” pode ser definido tecnicamente como uma situação onde 80 a 90% da biomassa das algas microscópicas se constitui de apenas uma ou duas espécies. Em termos de concentração, cianobactérias podem ser consideradas como em floração quando se excede a contagem de um milhão de células por litro (BEGLIUTTI et al., 2007).

Desde o início da década de 70 que as autoridades públicas tem intensificado o uso de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ para conter as florações (BEYRUTH 2000). Fora isso, o sistema Guarapiranga continua a receber o esgoto não tratado da região de entorno.

Segundo ZAGATTO et al. (1997), altas concentrações de nutrientes, especialmente compostos de fosfato e nitrogênios, aliadas a temperatura (entre 15 e 30°C), valores de pH entre 6 e 9 e intensidade luminosa são fatores que juntos favorecem a multiplicação de fitoplâncton, podendo levar as florações.

Florações das cianobactérias e fitoplânctons têm várias consequências negativas para um sistema aquático. Alguns grupos de cianobactérias e algas aumentam muito sua produção de biomassa em ambientes eutrofizados, reduzindo a quantidade de luz e oxigênio disponível para outras comunidades aquáticas. Além de produtores potenciais de toxinas, a matéria orgânica gerada pelo fitoplâncton pode se combinar ao cloro utilizado nas estações de tratamento de água, o que pode gerar ainda outra toxina, os trihalometanos, que são subprodutos da cloração da água rica em matéria orgânica (OLIVER; RIBEIRO, 2014). Ambos, cianotoxinas e trihalometanos, são prejudiciais à saúde humana, constituindo um problema de saúde pública. As cianotoxinas podem ser de natureza neurotóxica, hepatotóxica ou dermatotóxica. A maioria é endotoxinas, pois são liberadas para o meio externo por rompimento da parede celular, o que acontece por senescência das células ou sob a ação de algicidas, como o sulfato de cobre pentahidratado.

A biomassa de fitoplâncton é um dos responsáveis por diminuir a transparência da água, portanto, altos valores de clorofila a (Chl-a) em geral estão associados com altos valores de UNT, bem como altos valores de OD. Por outro lado, a proliferação abundante de algas pode diminuir a OD, pois fornece muita matéria orgânica, proveniente da morte dessas algas (CETESB, 2008). A maior disponibilidade de matéria morta favorece uma grande proliferação de bactérias aeróbicas que consomem grande quantidade de oxigênio (BEGHELLI, et al., 2015).

Como atividade didática simples pode ser feito o cultivo de fitoplâncton em ambiente artificial. Neste experimento, os alunos podem acompanhar o crescimento fitoplanctônico e controlar variáveis como luminosidade, acidez, nutrientes e algicida (sulfato de cobre). Amostras de água da represa Guarapiranga podem ser coletadas em garrafas PET de 2L e seu conteúdo distribuído de forma homogênea em balões de vidro, erlenmeyer, aquários, béqueres ou qualquer recipiente transparente de cerca de 2L ou mais. O conteúdo dos frascos podem ser completados com água declorada preferencialmente e ser mantidos sob uma luz fluorescente ou sob luz natural.

Acidificantes, alcalinizantes, tamponantes, soluções declorantes e fertilizantes para fitoplâncton vivo são encontradas em lojas de aquarismo. Em um ambiente enriquecido, disponibilidade de luz e temperatura amena (entre 15° e 30°C) é esperado que o fitoplâncton prolifere rapidamente em algumas semanas, modificando a coloração e a turvação da solução no frasco. Da mesma forma, o sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) é facilmente encontrado em comércios pelo seu uso em manutenção de piscinas e em agropecuária.

O objetivo é que as variáveis que afetam a proliferação e crescimento do fitoplâncton possam ser observadas separadamente, por isso é interessante que vários recipientes sejam preparados para cultivo de fitoplâncton.

Na impossibilidade de coletar amostras de água diretamente da represa é possível comprar fitoplâncton cultivado em lojas que comercializam alimento para artêmias, copépodes, corais filtradores e rotíferos (lojas de aquicultura). O fitoplâncton vivo comercializado é geralmente de água salgada e é próprio para cultivo caseiro.

4.3 ESTADO TRÓFICO

Há um processo natural de eutrofização, com escala temporal geológica. Até certos limites, a eutrofização pode ser positiva, pois possibilita maior capacidade de sustentar sistemas biológicos aquáticos. No conceito original de trofia, há uma ideia progressiva de eutrofização. Atualmente os índices são dinâmicos, variando conforme os valores de suas variáveis se modificam com o tempo.

O índice de estado trófico (IET ou TSI - Trophic state index) classifica os copos de água em graus de trofia segundo enriquecimento por nutrientes e é uma avaliação feita tradicionalmente em vários países. O TSI para os reservatórios, rios e mananciais em São Paulo é calculado de acordo com a CETESB (2017). O TSI comumente adotado pela CETESB é índice de CARLSON (1977) modificado por TOLEDO et al. (1983) para climas subtropicais. Em 2004, com base no valor do TSI LAMPARELLI, estabeleceu critérios de classificação por classe, hoje utilizada pela CETESB. Os valores limites para as classes usadas são: $TSI \leq 47$ (ultraoligotrófico), $47 < TSI \leq 52$ (oligotrófico), $52 < TSI \leq 59$ (mesotrófico); $59 < TSI \leq 63$ (eutrófico), $63 < TSI \leq 67$ (supertrófico) e $TSI > 67$ (hipertrófico).

O metabolismo de lagos e reservatórios são diferentes para climas tropicais e temperados, especialmente nos fatores que tem influência sobre a produtividade primária. Segundo LEWIS (1987), em regiões temperadas, o fator determinante na produtividade primária é a temperatura, enquanto que em regiões tropicais, a disponibilidade de nutrientes tende a ser o fator limitante.

Originalmente, o índice de Carlson computa três variáveis: Chl-a (clorofila a), SD (disco de Secchi) e TP (fósforo total). Na modificação feita por TOLEDO et al. (1983), seu cálculo não leva em consideração a transparência medida pelo disco de Secchi, já que a transparência pode ser afetada pela UNT (turbidez) e não apenas pela densidade do fitoplâncton. Valores de Chl-a podem não estar linearmente relacionados aos valores de transparência. Estes podem ter mais que ver com a presença de material particulado de origem alóctone. O valor, portanto, é resultado da média aritmética entre o TSI Chl-a (índice de estado trófico baseado nas concentrações de clorofila-a e o TSI-TP (índice de estado trófico baseado nas concentrações de fósforo total). O teor de Chl-a e TP são os parâmetros realmente importantes nos cálculos de trofia, sendo considerados “macro-descritores” de trofia para corpos hídricos.

No reservatório Guarapiranga, os dados históricos mostram, que tanto a Chl-a quanto o TP vem exibindo variações similares nos seis últimos anos, com os

maiores valores encontrados em 2014 (CETESB, 2017). Em 2016 o reservatório Guarapiranga manteve em dois pontos monitorados (na foz do rio Parelheiros e próximo ao ponto de captação da Sabesp) condições “Supereutrófica” e “Eutrófica”, respectivamente. Ainda segundo a CETESB, desde 2012, o Guarapiranga já se encontra com elevado grau de eutrofização.

Há variados métodos utilizados para quantificar os teores de Chl-a. Há métodos diretos, com uso da fluorescência, ou após extração com uso de solvente. Os métodos de laboratório mais tradicionais empregados na determinação do teor de clorofila requerem a extração dos pigmentos com solventes orgânicos, seguido da leitura das absorvâncias em espectrofotômetros.

CARLSON (1977) menciona que a biomassa algal é um dos melhores indicadores do estado trófico de um reservatório e que a Chl-a é a melhor variável para estimar a biomassa algal. A determinação da feofitina na mesma amostra é indispensável em pesquisa científica por representar um fator de correção da Chl-a. A clorofila é facilmente degradada por variações no pH, alta incidência luminosa ou temperatura, entre outros fatores, tendo como um dos produtos a feofitina. A feofitina é um indicador importante para o acompanhamento da produtividade primária, uma vez que numa população em declínio, o teor de clorofila diminui, enquanto que os feopigmentos e os carotenóides aumentam (MARGALEF, 1967).

Outros fatores são comumente utilizados em pesquisas científicas para estimar a biomassa algal. A razão N/P (nitrogênio/fósforo) têm sido frequentemente usada como determinante estequiométrico em ambiente aquático para alocação de organismos de baixo nível trófico, como aqueles que fazem parte do fitoplâncton. Comparação entre biotas de algas e concentrações desses nutrientes em lagos parecem sugerir que uma razão N/P acima de 17 indica limitação de fósforo, uma razão abaixo de 10 indica limitação de nitrogênio e valores entre 10 e 17 indicam que qualquer um dos nutrientes pode ser limitante (YUN; AN, 2016; HELLSTRÖM, 1996).

Analisados separadamente, os índices também podem nos fornecer informações sobre o sistema quando seus resultados são discrepantes. Quando o TSI-Chl-a indica um nível trófico menor que o correspondente para TSI-TP sozinho, pode haver um fator limitando a produção primária. Do modo contrário, se o TSI-Chl-a classifica o sistema em um grau de trofia maior para as quantidades de fósforo, então não há um fator limitante importante quando se trata de nutrientes.

Porém, é importante lembrar que o conceito de fator limitante como fator que impede a proliferação do fitoplâncton tem restrições, pois estudos mostram que várias espécies de algas são capazes de armazenar nutrientes em abundância de forma a garantir a multiplicação por algumas gerações (CHORUS; BARTRAM, 1999) em épocas de escassez.

No caso da determinação dos teores de Chl-a, o grupo de pesquisa em Limnologia da USP (Instituto de Biociências, Depto. de Ecologia) desenvolveu proposta de kit de baixo custo para avaliação dos teores de clorofila em termos de escala de cores e a determinação do respectivo estado trófico do corpo hídrico (ver POMPÊO, et al., 2015) A cartela colorimétrica tem cinco cores, representando os níveis de trofia equivalentes a ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e supereutrófico (figura 3).

Figura 3- Cartela de escala de cores para classes do TSI. Cada cor representa o limite superior de sua respectiva classe

	ULTRAOLIGOTRÓFICO
	OLIGOTRÓFICO
	MESOTRÓFICO
	EUTRÓFICO
	SUPEREUTRÓFICO

Fonte: Adaptado de POMPÊO et al., 2015.

Portanto, é possível inferir o TSI da massa d'água através de procedimento visual padronizado. Para isso, coleta-se amostras de água bruta (1L) e depois filtra-se as amostras em discos de algodão (empregados para limpeza facial). Posteriormente, se extrai a clorofila com solvente (álcool etílico hidratado, com 92 INPM, de uso doméstico) e compara-se um volume 10 ml desse filtrado com a cartela de cores. Alguns cuidados são necessários, como manter e transportar a amostra de água protegidas da luz e acondicionar as amostras resfriadas até momento da filtração e extração do pigmento. Estas medidas são importante para evitar a degradação da clorofila (POMPÊO, et al., 2015).

O protocolo de averiguação de clorofila a é reproduzível em ambiente escolar e praticável com ferramentas acessíveis e baratas. Apesar de não ter a precisão dos índices calculados com dados de Chl-a e TP obtidos pôr espectrofotômetro (em conjunto com os fatores de correção usados comumente em pequisas) é adequado dentro de uma proposta de transposição didática.

5. O SABER A SER ENSINADO: PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

5.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO E PRODUÇÃO INICIAL

Momento em que o professor apresenta aos alunos o tema do projeto que será realizado e possibilita que os alunos exponham o que sabem e pensam sobre o assunto, por meio de produção de texto, discussões, etc. Trata-se de uma avaliação para que o professor entre em contato com o conhecimento prévio dos alunos.

O professor pode propor questionamentos sobre a origem da água da rede pública e como eles imaginam que a água chega até a rede de abastecimento. Se eles conhecem os principais mananciais que abastecem São Paulo e porque a água precisa ser tratada antes do seu uso doméstico.

Devem ser discutidos e compreendidos conceitos como potabilidade, poluição e eutrofização. Fósforo e nitrogênio são muito presentes em compostos orgânicos, portanto, compostos contendo estes elementos são esperados em concentrações maiores nos corpos de água que recebem grandes quantidades de efluentes domésticos. Justamente por serem elementos que fazem parte de compostos orgânicos, servem como nutrientes para o fitoplâncton.

Os alunos deverão levantar hipóteses e suposições sobre a qualidade de água do manancial que abastece sua região: se ela é boa, se é ruim e porquê. O professor pode fornecer dados de população na zona de drenagem, dados de esgotamento sanitário na região e discutir com os alunos como se forma o corpo hídrico de um manancial (ciclo da água, onde a qualidade do solo e da atmosfera local interferem na qualidade da água). Tendo isso, os alunos decidirão junto com o professor algumas variáveis a serem medidas e devem saber o porquê delas serem importantes e quais os resultados esperados.

O projeto pode ser desenvolvido no ensino médio ou nos anos finais do ensino fundamental (sexto a nono ano). Como é um projeto amplo, com muitos conceitos que devem ser construídos antes e durante o projeto, é recomendável que seu desenvolvimento ocupe um semestre ou mais.

5.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Para os dados físico-químicos, kits prontos podem ser adquiridos. Os kits possuem material suficiente para várias amostragens, permitindo que sejam usados em várias turmas. Os kits são encontrados na própria Alfakit® ou em outras distribuidoras com os nomes de “Kit básico potabilidade” (cerca de R\$ 960,00, com 100 amostragens para cada parâmetro), “Ecokit Técnico Água Doce/Salgada” (entre R\$700 e R\$800, com 100 amostragens para cada parâmetro, para ser utilizado por alunos a partir da 7^o série, oitavo ano, ou comunidades em geral), “Ecokit II” (R\$344,00, kit com material suficiente para 20 amostragens para cada parâmetros, a partir de quinta série, sexto ano).

Os kits variam, permitindo estimativas de variáveis diferentes, ficando a critério do professor escolher o kit mais apropriado levando em conta custo, praticidade e relevância das variáveis. É importante que sigam-se as instruções dos manuais dos kits, pois as cartelas colorimétricas foram padronizadas segundo a metodologia própria do kit.

Os alunos podem ser divididos em grupos e cada grupo amostrará os mesmos parâmetros. Se forem escolhidos vários pontos de amostragem, cada grupo deverá preferencialmente amostrar cada parâmetro para cada posto de coleta. Essa repetição é interessante porque os grupos obterão valores diferentes para os parâmetros das mesmas amostras.

Devem ser anotados, data, hora e condições climáticas do dia da coleta. Os testes podem ser feitos imediatamente após coleta (mais recomendável) ou as amostras de água superficial podem ser coletadas em galões de polietileno e mantidas ao abrigo da luz e calor até o processamento das variáveis na escola. Quais as variáveis foram medidas *in situ* e em laboratório devem ser identificadas.

Os alunos também podem comparar os resultados entre as amostras de coleta no Guarapiranga com as amostras da rede de abastecimento. Na falta de recursos para saída e atividade *in situ*, os alunos podem realizar análise de água apenas da rede de abastecimento. Neste caso, as amostras de água já passaram pelo tratamento da SABESP e é esperado que os resultados das amostras de abastecimento estejam dentro dos parâmetros de potabilidade segundo resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 para classe de água do tipo 1 e portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011 (disponíveis na internet).

API® e Alcon® (Labcon tests), empresas que trabalham com produtos para aquarismo, dispõem de vários testes colorimétricos que podem ser adquiridos individualmente para cada parâmetro como oxigênio dissolvido, fosfato, nitrito, amônia, dureza, ferro, cobre etc. (ver figura 4), o que facilita a aquisição em termos de custo (entre R\$30,00 a 80,00 cada teste). Testes mais baratos conhecidos como “testes em tiras” também estão disponíveis no mercado para vários parâmetros, comumente usados em aquarismo e controle de água de piscinas. É preciso que professor repare nas especificações técnicas desses testes quanto aos limites de detecção na hora de escolher os testes apropriados para verificar potabilidade.

Figura 4 – kit para detecção de cobre em água



Fonte: <https://lista.mercadolivre.com.br/api-teste>

5.3 OS PRINCÍPIOS DOS SENSORES QUÍMICOS COLORIMÉTRICOS

Os sensores são dispositivos que indicam qualquer tipo de alteração em função de propriedades físico-químicas. São amplamente usados em ciência e nos

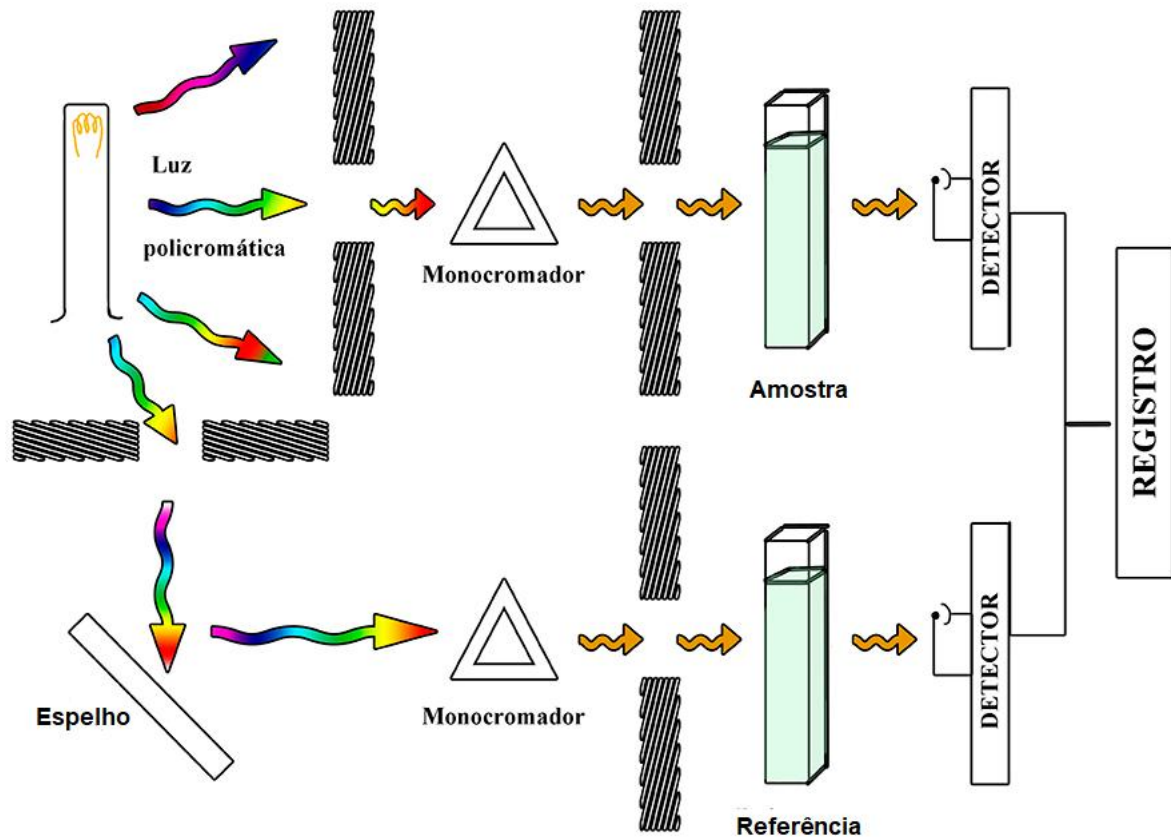
procedimentos de coleta de dados propostos aqui. Termômetros de mercúrio, por exemplo, são sensores muito comuns.

Entender como os princípios de medição funcionam é importante para se ter noção de como as metodologias de coleta de dados atuam e quais suas limitações. São conceitos e informações que o professor pode fornecer depois de realizadas as amostragens, pois os alunos já terão familiaridade com os procedimentos experimentais. As breves descrições dos procedimentos usados em laboratórios científicos neste trabalho têm função informativa para o professor, ficando a critério deste expô-las ou não em sala de aula para efeito comparativo. O que é importante é que os alunos entrem em contato com os princípios dos métodos de baixo custo utilizados em aula. Esta sequência didática foi planejada para kits com testes apenas colorimétricos, sem uso de sonda com eletrodos.

Espectrofotometria baseia-se na análise da radiação eletromagnética emitida ou absorvida pelas substâncias, ou seja, são métodos colorimétricos. A fonte de radiação emite luz e essa luz é refratada pelo monocromador. Um monocromador é um dispositivo óptico, muitas vezes um prisma, que transmite uma faixa estreita selecionável de comprimento de ondas de luz. Como em uma amostra há vários elementos e compostos é adequado selecionar o feixe onde há o maior pico de absorção do soluto de interesse. A faixa de comprimentos de onda, inicialmente selecionada, é dirigida para a amostra e para a referência (leitura em branco), cuja finalidade consiste em minimizar os erros de leitura, ocasionados pela absorção de luz pela cubeta e pela solução (SILVERSTEIN, BASSLER & MORRIL, 1994).

Parte da luz é absorvida pelas soluções e parte é transmitida. A luz que chega ao detector é transformada em um sinal elétrico (ver figura 5). O espectrofotômetro compara a quantidade de luz radiante com a luz absorvida por uma determinada solução. A cor da solução é, geralmente devida, à formação de um composto colorido pela adição de um reagente apropriado. A intensidade da cor é comparada com a intensidade da cor que se obtém com o mesmo procedimento pelo tratamento de amostras cujas concentrações são conhecidas (curva de calibração). Sempre há possíveis interferentes no resultado como flutuação e interferências do sinal no próprio instrumento, a qualidade do prisma, o material das cubetas, soluções muito concentradas, ionização do soluto, margem de erro inerente ao aparelho, etc. (SILVERSTEIN, BASSLER & MORRIL, 1994).

Figura 5 – Esquema dos componentes de um espectrofotômetro



Fonte: Adaptada de

<https://www.flickr.com/photos/67235095@N07/6121215354/sizes/o/in/photostream/>

Há correlações conceituais entre os métodos colorimétricos de baixo custo e o espectrofotometria, todavia os alunos não precisam compreender necessariamente todos os detalhes químicos envolvidos nos testes colorimétricos superficialmente expostos no tópico 4 ou no mecanismo empregado no espectrofotômetro, basta que eles compreendam que os reagentes possuem “corantes” que se ligam quimicamente ao soluto de interesse. A intensidade da cor ou sua qualidade servem como estimativa, pois ela será proporcional ou equivalente à concentração do soluto em uma amostra com volume conhecido. Esses reagentes que modificam a coloração da solução em função de uma reação química podem ser chamados genericamente de “indicadores”.

As fitas de pH são métodos colorimétricos onde uma mistura de indicadores de pH estão impregnados em tiras de papel absorvente seco e esse é um tipo de variável que pode ser usada para aprofundar o conhecimento dos alunos sobre métodos colorimétricos.

Muitos indicadores naturais podem responder à acidez ou alcalinidade de uma substância. Para ilustrar como alguns indicadores mudam de cor de acordo com o pH, o professor pode fazer com os alunos a experiência do suco de repolho roxo, cujas folhas contém antocianinas. Antocianinas estão em muitos vegetais como beterrabas e amoras e também estão presente em folhas e pétalas coloridas (LOPES et al., 2007), mas o experimento é tradicionalmente feito com repolho roxo, sendo bastante popular na internet.

Ao entrar em contato com uma solução, a coloração do extrato de repolho roxo varia entre vermelho e amarelo de acordo com o pH. Podem ser usados sucos de limão, sabão em pó e bicarbonato de sódio para variar o pH da solução. Outra atividade prática interessante é a possibilidade dos alunos produzirem suas próprias fitas de pH, usando antocianinas extraídas de vegetais (ver BERNARDINO et al., sem data).

5.4 PRODUÇÃO FINAL E AVALIAÇÃO

A produção de um relatório onde os alunos dispõem os resultados das análises limnológicas e discutem suas prováveis causas, pode constituir instrumento de avaliação. Momento em que o aluno sintetiza as ideias e organiza as atividades experimentais em um texto coeso, o que implica no desenvolvimento da competência discursiva.

É importante que os alunos discorram também sobre os métodos utilizados (caso o projeto seja desenvolvido no ensino médio) e que haja uma fase “pré-escrita”, onde o professor fará junto aos alunos o planejamento da produção textual e definirá a estrutura de texto e a forma de apresentação dos dados.

Como fechamento do projeto o professor pode propor discussões sobre como a ciência funciona, questionando se os métodos de coleta de dados são passíveis de erros, se o trabalho de pesquisa é imune a interpretações e se os resultados dessa atividade podem ser generalizados para outros mananciais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de barragens e o represamento da água já causam alterações nos ecossistemas hídricos e diante das modificações do meio, algumas são de grande importância e preocupação por parte dos gestores ambientais e órgãos públicos de saneamento. Dentre elas, a eutrofização dos corpos hídricos, acompanhada pelas elevadas concentrações de fitoplâncton em corpos d'água.

As águas do reservatório Guarapiranga apresentam sinais de trofia e de degradação. As características tróficas do reservatório estão associadas ao seu tempo de residência, pouca profundidade média, conformação dendrítica, à ocupação urbana e agropastoril irregulares da sua área de drenagem e falta de esgotamento sanitário em torno do reservatório. A poluição dos mananciais demanda processos de tratamento cada vez mais sofisticados, com substâncias mais caras, como o carvão ativado (para tirar gosto e cheiro) e o permanganato de potássio (para degradar matéria orgânica).

Com a transposição das águas do reservatório Billings ocorreram impactos à biota aquática e à saúde pública associados à possibilidade de ressuspensão dos sedimentos contaminados no reservatório Billings. Devido à má qualidade da água da Billings, deveriam ser tomadas precauções em termos de remoção de elementos e compostos que pudessem trazer danos maiores ao Guarapiranga.

É importante que medidas sejam tomadas para que se reduza a entrada de nutrientes nesses ecossistemas, por meio do controle dos assentamentos urbanos na região e de medidas apropriadas de saneamento básico, com a efetiva coleta e tratamento das águas.

Aplicação de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ como algicida é considerada uma técnica ultrapassada porém é uma prática que continua sendo muito comum no Brasil e os dados revelam que as aplicações de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ contaminam o sedimento. A atual política de manejo vem trazendo risco ecotoxicológico, além de ser uma técnica paliativa.

Por serem alvo de políticas de manejo com potencial de grande impacto na saúde pública e vida social, os reservatórios de abastecimento constituem proveitoso tema para o ensino e divulgação. Ademais, são terreno fértil para explorar diversas áreas de conhecimento.

Embora a qualidade dos dados levantados tenha algumas limitações, a redução de custos, praticidade e acessibilidade dos métodos que fazem parte dos kits tornam as atividades práticas de análise de água bastante interessantes, aplicáveis em ambiente escolar e pertinentes dentro de um contexto de transposição didática.

Importante que os alunos percebam que os princípios de detecção/estimativa de sensores e aparelhos de laboratório são amplamente baseados em métodos ópticos/colorimétricos ou eletroquímicos (métodos de obtenção de dados indiretos). Dispositivos de baixo custo ou de alto custo muitas vezes adotam os mesmos princípios básicos, com a diferença que os de alto custo apresentam precisões maiores e maior comodidade e agilidade na obtenção dos dados. Em todo caso, todas as técnicas apresentam limitações e desvantagens em relação a outros métodos e que, portanto, o pesquisador deve estar sempre aberto a questionamentos e a outros protocolos de obtenção de dados.

Embora o saber científico passe por transformações para se tornar saber a ser ensinado, essas duas instâncias de saber não devem ser completamente diferentes, conservando a essência epistemológica da produção do conhecimento científico.

7. REFERÊNCIAS

BRASIL. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.* Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/qm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em 29 Ago. 2018.

BEGHELLI et al. Aplicações de sulfato de cobre no Reservatório Guarapiranga, SP: distribuição no meio e efeitos sobre a comunidade planctônica. In Pompêo et al. (Orgs). *Ecologia de reservatórios e interfaces.* São Paulo, Instituto de Biociências, 2015. Disponível em http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Cap.19_Sulfato_de_cobre_Guarapiranga.pdf. Acesso em: 21 Jul. 2018.

Begliutti B., Buscarinu P., Marras G., Sechi G., Sulis A. Reservoirs Water-Quality Characterization for Optimization Modelling Under Drought Conditions. PART I – Reservoirs Trophic State Characterization. In: Rossi G., Vega T., Bonaccorso B. (eds) *Methods and Tools for Drought Analysis and Management.* Water Science and Technology Library, vol 62. Springer, Dordrecht, 2007. Disponível em: <http://pcserver.unica.it/web/sechi/main/Selected%20papers/UNICA-EAF_WaterQual_REV.pdf>. Acesso em 18 de Jul. 2018.

Bernardino, A. M. R. Pereira, A. S., Araripe, D. R., Souza, N. A. e Azevedo, R. V. D. Antocianinas - Papel indicador de Ph e estudo da estabilidade da solução de repolho roxo. Sem data. Disponível em <<http://www.s bq.org.br/ranteriores/23/resumos/0256/>> Acesso em 29 Ago. 2018.

BEYRUTH Z. Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Hydrobiologia* 424:51–65, 2000.

Bicudo, D.C., Fonseca, B.M., Bini, L.M., Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M. and Araújo-Jesus, T. Undesirable side effects of water hyacinth control in a shallow tropical reservoir. *Freshwater Biology*, 52(6), 1120-1133, 2007.

Bouvy, M., Molica, R., de Oliveira, S., Marinho, M. & Beker, B. Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. *Aquatic Microbial Ecology* 20:285-297, 1999. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/240809753_Dynamics_of_a_toxic_cyanobacterial_bloom_Cylindrospermopsis_raciborskii_in_a_shallow_reservoir_in_the_semi-arid_region_of_northeast_Brazil> Acesso em 05 Jul. 2018.

Caleffi S. Impacto do uso de sulfato de cobre sobre o zooplâncton na represa Guarapiranga. In: Espíndola E.L.G., Paschoal C.M.R.B., Rocha O., Bohrer M.B.C., Oliveira Neto A.L. (eds). *Ecotoxicologia: Perspectivas para o Século XXI.* São Carlos, RiMa. 573 p, 2000.

CAMELO, L. F., FREITAS F. R., ANDRADE, V. S. DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE SENSOR DE MEDIDA DE PH COM PLATAFORMA ARDUÍNO PARA EMPREGO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campo Grande/MS, 2017. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/X-009.pdf>> Acesso em 9 Ago. 2018.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. Vol 22 (2). 361-369, 1977. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/docs/ML0427/ML042790430.pdf>>, Acesso em 9 Jul. 2018.

CARNEIRO. Marcos Antônio Bezerra. A transposição didática e os conteúdos de meio ambiente e educação ambiental em áreas de manguezais na 4ª série do ensino fundamental. 182 f. 2009. Dissertação (Mestrado no Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Rural de Pernambuco, 2009. Disponível em: <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/5916/2/Marcos%20Antonio%20Bezerra%20Carneiro.pdf>> . Acesso em: 12 Jul. 2010.

CARVALHO, L. R. de et al. Cyanobacterial occurrence and detection of microcystin by planar chromatography in surface water of Billings and Guarapiranga Reservoirs, SP, Brazil. *Rev. bras. Bot.*, São Paulo , v. 30, n. 1, p. 141-148, Mar. 2007. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042007000100014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 Jul. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042007000100014>.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2016 [online]. São Paulo, 2017. Disponível em <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2016_corre%C3%A7%C3%A3o02-11.pdf>. Acesso em: 14 Jul. 2017.

CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2001. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Cetesb, São Paulo, 2002. Disponível em <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios>> Acesso em: 20 Jul. 2018.

CETESB. Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade de Água e dos sedimentos e Metodologias de amostragem. São Paulo, 2008. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>> Acesso em 8 Ago. 2018.

CHAGAS, D. S. Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015. Disponível em: <<https://www1.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/DENIZE-SAMPAIO-CHAGAS.pdf>> Acesso em 9 Ago. 2018.

CHEVALLARD, Y., (1991). La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Chorus, E. & Bartram, J. (Eds.) World Health Organization, E&FN Spon London & New York, 1999. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxycyanbegin.pdf>. Acesso em 30 Jul. 2018.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO NO. 357 DE 17 DE MARÇO DE 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União., p. 58-63. 2005.

CORCÓVIA, J. A.; CELLIGOI, A. Avaliação preliminar da qualidade da água subterrânea no município de Ibiporã-PR. Revista de estudos ambientais, v. 14, n. 2esp, p. 39-48, 2012.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. 2ªEd, Rio de Janeiro: Editora Interciência/FINEP, 1998. Disponível em <http://professor.ufop.br/sites/default/files/roberthfagundes/files/fundamentos_de_limnologia_-_francisco_de_assis_esteves.pdf> Acesso em 9 Ago. 2018.

FERREIRA, M. A. C. Desenvolvimento de sensores de oxigênio dissolvido utilizando métodos eletroquímicos e ópticos para monitoramento em tempo real da qualidade da água. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. Methods for physical and chemical analysis of freshwaters. 20. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 213 p. (I.B.P. Handbook, 8), 1978.

HELLSTRÖM T, 1996. An empirical study of nitrogen dynamics in lakes. Water Environ Res 68:55–65.

HENRY, R., NUNES, M.A., MITSUKA, P.M., LIMA, N. DE & CASANOVA, S.M.C. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP). Revista Brasileira de Biologia 58:571-590, 1998. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbbio/v58n4/v58n4a4.pdf>> Acesso em: 25 Jul. 2018.

LAMPARELLI, M. C. Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento. 2004. 238f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/pt-br.php> Acesso em: 15 Jul. 2018.

LEE, G. F.; JONES-LEE, A. Determination of nutrient limiting maximum algal biomass in waterbodies. Report G. Fred Lee & Associates, El Macero, CA. 1998.
LEWIS JR, W. N. Tropical Limnology. *Ann. Ver. Ecol. Syst.* 18:159-184, 1987.

LOPES, T. et al. Antocianinas: Uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 3, p. 291-297, 2007. Disponível em <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/1375> Acesso em 27 Ago. 2018.

MARGALEF, R. El ecosistema. In: *Ecologia marine*. Caracas: Fundación La Salle de Ciencias Naturales, p 337-453, 1967.

MELCHOR, A; SILVEIRA, A; LOPEZ, GM; ARAUJO, R. 1974 Preservação de mananciais para abastecimento - Guarapiranga, um modelo de preservação. Rev. DAE-SABESP, 35: 14-25. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_102_n_331.pdf Acesso em 28 Jul de 2018.

MILLER, J. D. (1983). Scientific literacy: a conceptual and empirical review, In: *Daedalus*, n. 112, p. 29-48.

NOGUEIRA, COSTA & PEREIRA, 2015 Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás

OLIVER, S. L.; RIBEIRO, H. Variabilidade climática e qualidade da água do Reservatório Guarapiranga. *Estud. av.*, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 95-128, Dec. 2014. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142014000300007&lng=en&nrm=iso. Acesso em 03 Jul. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300007>

PIRES, D. A. et al . Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, Rio Claro, v. 27, n. 4,p. 370-380, Dec. 2015. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-975X2015000400370&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 20 Jul 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X4914>.

POMPÊO M., CARDOSO-SILVA, S. & MOSCHINI-CARLOS, V. Kit para determinação da qualidade da água Sem data. Disponível em: http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=422 Acesso em 20 Jul. 2018.

POMPÊO M., CARDOSO-SILVA, S. & MOSCHINI-CARLOS, V. REDE INDEPENDENTE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS EUTROFIZADOS: UMA PROPOSTA. In Pompêo et al. (Orgs). *Ecologia de reservatórios e interfaces*. São Paulo, Instituto de Biociências, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Sheila_Silva5/publication/323704630_Capitulo_26_Nete_independente_de_monitoramento_CAPITULO_26_REDE_INDEPENDENTE_DE_MONITORAMENTO_DA_QUALIDADE_DA_AGUA_DE_RESERVATORIO

OS_EUTROFIZADOS_UMA_PROPOSTA/links/5aa6e4e94585152d7665be4d/Capitulo-26-Rede-independente-de-monitoramento-CAPITULO-26-REDE-INDEPENDENTE-DE-MONITORAMENTO-DA-QUALIDADE-DA-AGUA-DE-RESERVATORIOS-EUTROFIZADOS-UMA-PROPOSTA.pdf Acesso em: 21 Jul. 2018.

POMPÊO M., NISHIMURA P. Y, CARDOSO-SILVA, S. & MOSCHINI-CARLOS, V. KIT CLOROFILA – UMA PROPOSTA DE MÉTODO DE BAIXO CUSTO NA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO COM BASE NOS TEORES DE CLOROFILA. In Pompêo et al. (Orgs). Ecologia de reservatórios e interfaces. São Paulo, Instituto de Biociências, 2015. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Sheila_Silva5/publication/323704539_KIT_CLOROFILA_-UMA_PROPOSTA_DE_METODO_DE_BAIXO_CUSTO_NA_ESTIMATIVA_DO_INDICE_DE_ESTADO_TROFICO_COM_BASE_NOS_TEORES_DE_CLOROFILA/link/s/5aa6e6430f7e9bbbff8ca303/KIT-CLOROFILA-UMA-PROPOSTA-DE-METODO-DE-BAIXO-CUSTO-NA-ESTIMATIVA-DO-INDICE-DE-ESTADO-TROFICO-COM-BASE-NOS-TEORES-DE-CLOROFILA.pdf> Acesso em: 21 Jul. 2018.

RICHTER, E. M. et al. Avaliação da composição química de águas do Sistema Guarapiranga: estudo de caso nos anos de 2002 e 2003. Quím. Nova, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1147-1152, 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000500018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 Maio 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000500018>.

RODRIGUES, L. L. R.; Biodiversidade de cianobactérias e algas das represas Billings (braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil. Tese (dissertação de mestrado), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde02122008.../luciano_rodrigues.pdf> Acesso em: 20 Jul. 2018.

RODRIGUES, L. L.; SANT'ANNA, C. L.; TUCCI, A.. Chlorophyceae das represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil. Rev. bras. Bot., São Paulo, v. 33, n. 2, p. 247-264, June 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042010000200006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 Abril 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042010000200006>.

RUCKERT, G. V; GIANI, A.. Effect of nitrate and ammonium on the growth and protein concentration of *Microcystis viridis* Lemmermann (Cyanobacteria). Rev. bras. Bot., São Paulo, v. 27, n. 2, p. 325-331, June 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042004000200011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 12 Jul. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042004000200011>.

SABESP. Disponível em <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=31>> Acesso em: 27 Jul 2018.

SABESP. Norma técnica interna NTS 008.1999. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts008.pdf>> Acesso em 9 Ago. 2018.

SÃO PAULO. Lei nº 12.233, de 16 de Janeiro de 2006. Define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga, e dá outras providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 17 jan.2006. Disponível: <http://www.saneamento.sp.gov.br/Arquivos/Manancias/Legislacao/LEIS_ESTADUAL_S/12233-06.pdf>. Acesso em 10 Jul. 2018.

SCHÄFER, A. Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Porto Alegre: UFRGS, 1985.

SILVERSTEIN, R.M., BASSLER, G.C., MORRIL, T.C., Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos, 5a edição, Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1994.

TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, M. CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para o processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Camboriú, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Camboriú, 1983.

VERRET, M. Le temps des études. Lille: Atelier de Réproduction des Thésés, 1975.

WHATELY M, CUNHA P. Proposition priority actions to ensure good quality water for public supply. Institute Socioenvironmental, Prefeitura da Cidade de São Paulo 117p, 2006a.

WHATELY, M.; CUNHA, P. M. Guarapiranga 2005: como e por que São Paulo está perdendo este manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo: Instituto Sócio Ambiental. 2006b. Disponível em <<https://acervo.socioambiental.org/acervo/publicacoes-isa/guarapiranga-2005-como-e-por-que-sao-paulo-esta-perdendo-este-manancial>> Acesso em: 15 Jul. de 2018.

YUN, Y.-J.; AN, K.-G. Roles of N:P Ratios on Trophic Structures and Ecological Stream Health in Lotic Ecosystems. *Water* 2016, 8, 22. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4441/8/1/22/html>>. Acesso em 19 Jul. 2018.

ZAGATTO, P.A., ARAGÃO, M.A., CARVALHO, M.C. & SOUZA, R.C.R. 1997. Manual de prientação em casos de florações de algas tóxicas: um problema ambiental e de saúde pública. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo.

Winkler, L.W. (1888). Die Bestimmung des in Wasser gelösten Sauerstoffes. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 21: 2843–2855.