



Parâmetros de qualidade e distribuição de espécies de carbono inorgânico em águas naturais de lagoas urbanas em Salvador-BA

Quality parameters and distribution of inorganic carbon species in natural waters of urban lagoons in Salvador-BA

Luciano da Silva Alves¹, Fabiana Costa Mendonça¹, Lucas Muniz Santana¹, Ingrid de Abreu Pereira¹, Aldenor Gomes Santos¹

¹ Centro Universitário Jorge Amado – UNIJORGE, Bahia, Brasil

Contato: aldenor.santos@unijorge.edu.br

Palavras-Chave

sistemas aquáticos
parâmetros físico-químicos
carbonatos
CO₂ dissolvido

Key-word

aquatic systems
physical-chemical parameters
carbonates
dissolved CO₂

RESUMO

A presença de carbono inorgânico dissolvido (CID) nas águas superficiais é de suma importância para dinâmica do ecossistema nos processos de sucessão ecológica e cadeia alimentar. O CID está distribuído na forma de CO₂, HCO₃⁻ e CO₃²⁻. O Objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros físico-químicos e determinar os níveis de CID em lagoas urbanas em Salvador-BA. As amostras de água foram coletadas nas lagoas do Abaeté, Unijorge, Pituáçu, Frades e Patos. Foram analisados: pH, alcalinidade, STD, CE, cloreto e dureza. A partir do pH e da alcalinidade foram determinadas as concentrações de CID. Os resultados obtidos foram: temperatura (27,5-30,5 °C), pH (7,2-7,63), alcalinidade (18,60-56 mg/L), STD (30,8-266,67 mg/L), CE (46,2-400,33 µS/cm), cloreto (61,06-180,34 mg/L) e dureza (11,4-118 mg/L). Em todas as lagoas a predominância foi da espécie HCO₃⁻. A lagoa da Unijorge apresentou o menor nível de CID total (1,97x10⁻⁴ mol.L⁻¹), enquanto a lagoa de Pituáçu apresentou maior nível (5,88x10⁻⁴ mol.L⁻¹). As taxas de CID total encontradas nas lagoas do Abaeté (4,26x10⁻⁴ mol.L⁻¹), Pituáçu (5,88x10⁻⁴ mol.L⁻¹) e Patos (5,47 x10⁻⁴ mol.L⁻¹) são típicas de áreas urbanas. As concentrações de CID podem estar associadas a múltiplos fatores decorrentes do ambiente associados ao uso e ocupação do solo, emissões atmosféricas, taxa de fluxo de exportação e importação.

ABSTRACT

The presence of dissolved inorganic carbon (DIC) in surface waters is of paramount importance for the dynamics of the ecosystem in the processes of ecological succession and the food chain. The DIC is distributed in the form of CO₂, HCO₃⁻ and CO₃²⁻. The objective of this work was to evaluate physical-chemical parameters and determine the levels of DIC in urban lagoons in Salvador-BA. The water samples were collected in the lagoons of Abaeté, Unijorge, Pituáçu, Frades and Patos. The following were analyzed: pH, alkalinity, TDS, EC, chloride and hardness. From the pH and alkalinity, the DIC concentrations were determined. The results obtained were: temperature (27.5-30.5 °C), pH (7.2-7.63), alkalinity (18.60-56 mg/L), TDS (30.8-266.67 mg/L), EC (46.2-400.33 µS/cm), chloride (61.06-180.34 mg/L) and hardness (11.4-118 mg/L). In all the lagoons the predominance was of the species HCO₃⁻. The Unijorge lagoon had the lowest total DIC level (1.97x10⁻⁴ mol.L⁻¹), while the Pituáçu lagoon had the highest level (5.88x10⁻⁴ mol.L⁻¹). The total DIC rates found in the lagoons of Abaeté (4.26x10⁻⁴ mol.L⁻¹), Pituáçu (5.88x10⁻⁴ mol.L⁻¹) and Patos (5.47x10⁻⁴ mol.L⁻¹) are typical of urban areas. DIC concentrations can be associated with multiple factors arising from the environment associated with land use and occupation, atmospheric emissions, export and import flow rate.

Informações do artigo

Recebido: 16 de fevereiro, 2020
Aceito: 21 de setembro, 2020
Publicado: 30 de dezembro, 2020

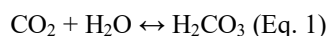
Introdução

A qualidade das águas superficiais mantém importância relevante para o equilíbrio dos ecossistemas que ali habitam. Apesar da importância, ao longo dos anos, o aumento das atividades antrópicas tem ocasionado prejuízos ao meio, passando então a causar interferências nas taxas de carbono inorgânico (CO_2). Considerando a relevância, uma vez que a carência do elemento limita a taxa de fotossíntese, é possível inferir que este é fundamental para o funcionamento de processos como o de sucessão ecológica e cadeia alimentar (PIERINI; THOMAZ, 2004).

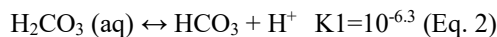
A origem do carbono (CO_2) inorgânico advém das trocas cíclicas entre o meio terrestre, atmosférico e aquático (ESTEVEZ, 1998; SOUZA et al., 2011). Seguindo esse contexto, os recursos hídricos superficiais constituem ecossistemas importantes para a dinâmica do carbono inorgânico. Baseado em Guimarães (1995), a captação de CO_2 pela hidrosfera é primordial, isso por que, dada a sua extensão na superfície terrestre, os oceanos, rios, lagoas e lagos acabam por constituir um reservatório fundamental para a manutenção do ciclo biogeoquímico.

Ainda com base no ciclo, grande parte do CO_2 supersaturado em água doce, é oriundo da pluviometria (precipitação), da decomposição da matéria orgânica e respiração dos seres vivos. Com isso, alguns estudos sugerem que a atmosfera e o ambiente terrestre constituem as principais fontes de carbono para a água (RICHEY et al., 2002; SOUZA, 2013).

Quando dissolvido em água doce, o carbono inorgânico pode apresentar-se sob três formas, são elas o dióxido de carbono dissolvido (CO_2), íons de bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) (DALMAGRO et al., 2007; COELHO et al., 2015). Cavalcante (2013) retrata que o comportamento do CO_2 em meio aquoso tende a ser como base fraca, passando então a receber prótons do ambiente, transformando-o em ácido carbônico (Eq. 1).



Obtendo o perfil de ácido fraco, o elemento irá dissociar conforme as constantes de equilíbrio (Eq. 2 e 3).



Dessa maneira, a forma em que o elemento irá precipitar no meio, está diretamente ligada ao pH (potencial de hidrogeniônico). Águas com pH na faixa de 1-5 (ácido), prevalece o CO_2 dissolvido, partindo para características neutras, no intervalo de 6-8, existe uma maior tendência para o HCO_3^- , já em zonas ligeiramente alcalinas, com o pH a partir de 9, a presença de HCO_3^- é reduzida, enquanto que a de CO_3^{2-} passa a ser a predominante (MORTATTI et al., 2006).

Sabe-se que parte do CO_2 é perdido para a atmosfera. Logo, em termos de análise de fluxo, é preciso levar em consideração a pressão parcial de carbono inorgânico ($p\text{CO}_2$) condicionada nas esferas solo e água.

Estima-se que os níveis de $p\text{CO}_2$ resultante da oxidação da matéria orgânica presente no solo, seja duas vezes maior que o $p\text{CO}_2$ atmosférico. Nesse mesmo sentido, verifica-se que o $p\text{CO}_2$ presente nas águas seja superior ao presente na atmosfera. Sendo assim, os índices de perda por evasão partem do sistema solo-ar e água-ar (SALOMONS; MOOK, 1986; RICHEY et al., 1990).

De acordo com Felix (2014), é importante salientar que as variações de CO_2 nos ecossistemas aquáticos, tanto em escala temporal (sazonalidade), quanto em escala espacial, é resultante das diversas características físicas, químicas e biológicas encontradas no ambiente.

Diante da circunstância, entende-se que o balanço do ciclo deve considerar a variação dos fluxos individuais, ou seja, considerando a heterogeneidade de cada ecossistema.

Tendo em vista a complexidade, os trabalhos de modelagem ainda têm gerado resultados aproximados e com certo grau de incerteza.

Considerando a importância para o meio aquático, o presente artigo teve como objetivo, a identificação de variáveis físico-químicas e a determinação das concentrações de carbono inorgânico na forma de dióxido de carbono dissolvido (CO_2), íons de bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) nas lagoas de Pituaçu, Abaeté, Patos, Frades e Unijorge, situadas na cidade de Salvador-Bahia.

Material e Métodos

Descrição da Área de Estudo

O estudo foi realizado nas lagoas de Pituaçu, Abaeté, Patos, Frades e Unijorge, localizadas na zona urbana de Salvador-Bahia e inseridas na Região de Planejamento de Gestão das Águas (RPGA) do recôncavo norte.

A lagoa de Pituaçu encontra-se situada no bairro de Pituaçu, estando envolvida pelo Parque Metropolitano de Pituaçu. Classificada como uma lagoa fluvial, a mesma foi originada através de um barramento no rio Pituaçu, no ano de 1903. Com cerca de 4km de extensão e 200 mil metros quadrados de espelho d'água, a lagoa está inserida nas bacias hidrográficas do rio das Pedras e Pituaçu.

A lagoa do Abaeté está localizada no bairro de Piatã, na Área de Proteção Ambiental (APA) das Lagoas e Dunas do Abaeté. Com uma área aproximada em 1410 hectares, a lagoa encontra-se inserida na bacia de drenagem natural de Stella Maris. Durante a amostragem, foi observado que apesar do local ser utilizado para pesca, a presença de animais e baronetas no interior da lagoa indicam comprometimento da qualidade da água.

Localizada entre as ruas Maranhão e Piauí, no bairro da Pituba, cercada por condomínios residenciais, a lagoa dos Patos é comumente vista como uma área de lazer para a população que reside ao entorno. Embora o espelho d'água não seja utilizado para fins de recreativos, a presença de animais (patos) configura um atrativo da lagoa.

Situada na Avenida Professor Manoel Ribeiro, bairro do Stiep, a lagoa dos Frades constituía uma área de dunas. Contudo, com o avanço da urbanização, ao longo dos anos a lagoa foi tendo o seu curso natural modificado. Pode-se observar em visita ao local, que, mesmo diante da coloração da água (verde) indicar estado de eutrofização proveniente do excesso de nutrientes como fósforo e nitrogênio, são realizadas atividades pesqueiras no interior da lagoa.

A lagoa da Unijorge está localizada no dentro do Centro Universitário Jorge Amado, na Avenida Luis Viana Filho – Paralela. Ainda que não tenha sido identificado a existência de canais de esgoto sanitário na lagoa, a presença de roedores (ratos) alerta para a insalubridade presente no ambiente.

De modo geral, todas as lagoas estudadas no corpo dessa pesquisa, encontram-se sob influência de ações antrópicas. Uma característica semelhante notada no entorno das lagoas, consistiu na baixa densidade ou ausência de mata ciliar.

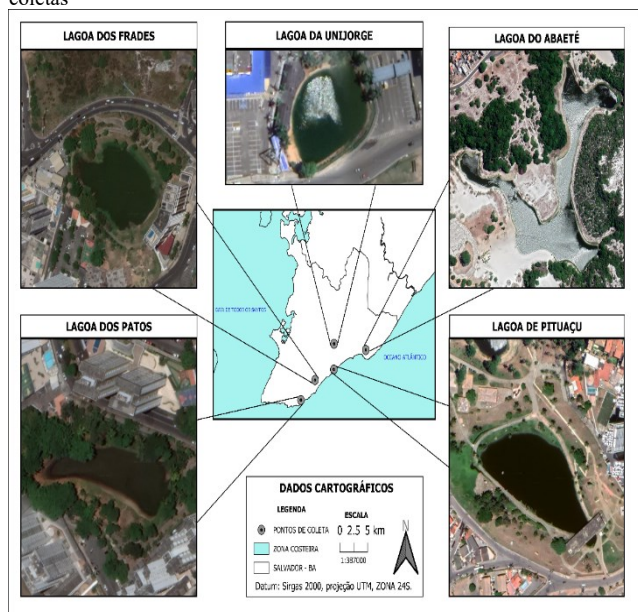
A Tabela 1 e a Figura 1, apresenta a localização geográfica das lagoas de Pituaçu, Abaeté, Patos, Frades e Unijorge.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas em graus, minutos e segundos dos pontos de coleta

Lagoas	Coordenadas - Graus, Min e Seg	
	Longitude	Latitude
Abaeté	38°21'26.89"O	12°56'42.48"S
Unijorge	38°24'37.63"O	12°56'16.60"S
Pituaçu	38°24'52.20"O	12°57'50.70"S
Frades	38°26'32.17"O	12°58'55.14"S
Patos	38°27'55.81"O	13° 0'20.83"S

Fonte: Autores (2020)

Figura 1. Distribuição espacial dos pontos onde foram realizadas as coletas



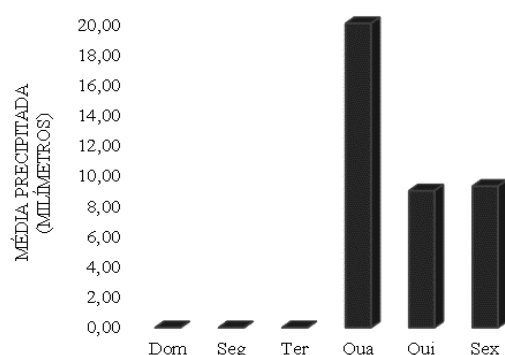
Fonte: Autores (2020)

Coletas e Análises

O procedimento de coleta seguiu as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). As coletas foram realizadas no mês de outubro de 2019 no período da manhã. Foram atribuídos um ponto de coleta para cada lagoa, sendo as análises feitas em triplicata de cada ponto.

Apesar do mês de outubro ser caracterizado como período seco, na semana em que foi feita a amostragem da água, houve a incidência de precipitação (Figura 2). Seguindo o contexto, verifica-se que as lagoas em estudo foram submetidas ao volume de precipitação em torno de 20 mm e 9 mm ocorrida na quarta e quinta feira. Não obstante, é de destaque que, a realização da coleta (*in situ*) foi sucedida da presença de chuvas.

Figura 2. Precipitação ocorrida na semana em que houve a coleta da água



Fonte: Adaptado de INEMA (2020)

A amostragem foi realizada via a utilização de frascos de polietileno com volume de 1 litro previamente lavados com água destilada. Antes da coleta da água, os recipientes foram ambientados duas vezes com a água do local e, por conseguinte identificado com o nome da lagoa, data e horário da coleta. Durante o transporte de um ponto para o outro, até o Laboratório de Química do Centro Universitário Jorge Amado – Unijorge, Campus Paralela, as amostras foram condicionadas em isopor com gelo.

Ainda durante etapa de amostragem, foram adotadas como medidas de campo o pH (potencial de hidrogênio iônico) e a temperatura da água. Para obtenção do pH foram usadas fitas quantitativas em faixas de 0 a 14, sendo o resultado posteriormente conferido em laboratório. Para análise da temperatura, foi utilizado o termômetro de mercúrio.

Análises Físico-Químicas em Laboratório

Os parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, cloreto e dureza, foram analisados através de métodos analíticos instrumentais e volumétricos no laboratório de química analítica e ambiental do Centro Universitário Jorge Amado (UNIJORGE).

O pH foi analisado através do método potenciométrico, via a utilização do pHmetro digital da marca Bel Engineering modelo W3B com faixa de pH 0,00-14,00 ± 0,01pH e temperatura 0-100 ± 0,1°C.

As análises de Condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD), foram realizadas pelo método condutométrico, utilizando um monitor eletrônico - condutivímetro microprocessador de bancada, medidor de condutividade (S/cm), resistividade (Ohm) e STD (mg.L⁻¹) da marca OMEGA, modelo CDB 387.

Os parâmetros de alcalinidade, cloreto e dureza, forma determinados por métodos volumétricos quantitativos. Estes tratam-se de determinar a concentração de uma espécie de interesse em uma amostra a partir do volume de uma solução padrão necessária para reagir quantitativamente com esta amostra em solução (TERRA e ROSSI, 2005). Foram realizadas titulações baseadas em reações químicas de neutralização, precipitação e complexação. Para a alcalinidade, utilizou-se como titulante o ácido sulfúrico (H₂SO₄) com concentração de 0,01 mol.L⁻¹ e o indicador alaranjado de metila.

O cloreto, foi determinado com o titulante nitrato de prata (AgNO₃) na concentração de 0,1 mol.L⁻¹ e como indicador o cromato de potássio (K₂CrO₄). Na análise da dureza, foi utilizado EDTA na concentração de 0,01 mol.L⁻¹ como titulante e o ericromo-T como indicador (APHA, 2005; FONTANA et al., 2019).

Determinação das Espécies de Carbono Inorgânico

As espécies de carbono inorgânico foram estabelecidas conforme a partir das medidas encontradas para o pH e alcalinidade total. As equações de 5 a 9 demonstram como foi realizado o cálculo para obter concentrações molares de CO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻ e os níveis de carbono inorgânico total – CIDtotal (MORTATTI et al., 2006; COELHO et al., 2015).

$$[\text{CO}_2]_{\text{aq}} = \frac{\text{Alcalinidade} [\text{H}^+]}{(\text{K1}[\text{CO}_2]_{\text{aq}}/[\text{H}^+])} \text{ (Eq. 4)}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{\text{K1} [\text{CO}_2]_{\text{aq}}}{[\text{H}^+]} \text{ (Eq. 5)}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{\text{K2} [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} \text{ (Eq. 6)}$$

$$\text{CID}_{\text{total}} = [\text{CO}_2]_{\text{aq}} + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \text{ (Eq. 7)}$$

Onde K1 e K2 representam as seguintes constantes de equilíbrio:

$$\text{K1} = 4,45 \times 10^{-7} \text{ (Eq. 8)}$$

$$\text{K2} = 4,69 \times 10^{-11} \text{ (Eq. 9)}$$

Resultados e Discussões

Parâmetros Físico-Químicos

A avaliação dos parâmetros físico-químicos de qualidade referentes a temperatura, pH, alcalinidade,

sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, cloreto e dureza, foi baseada na Resolução CONAMA n° 357/2005, legislação responsável por dispor dos padrões de qualidade ambiental dos corpos hídricos, avaliados por condições específicas, de modo a garantir seus usos preponderantes.

Dada a situação de que as lagoas estudadas neste artigo ainda não foram enquadradas, considerando o Art. 42 desta Resolução, os resultados foram comparados com os valores orientados para classe 2 (Tabela 2).

A temperatura da água está ligada a intensidade dos raios solares sobre a área. Segundo Alves, Martins e Jesus (2019), sua oscilação depende de fatores como a latitude, altitude, clima da região em estudo, horário da coleta e profundidade. Conforme os resultados da Tabela 2, observa-se que as temperaturas das lagoas não estiveram elevadas, estando em acordo com as características climáticas da região e mantendo a dinâmica das taxas das reações físicas, químicas e biológicas reguladas. Contudo, dado que as coletas foram realizadas no período da manhã, entre as 10:15 as 12:30 e que a amostragem partiu da Lagoa dos Patos, Frades, Abaeté, Pituaçu e Unijorge, o valor 27,5 °C denota temperatura baixa. Acredita-se que o eventual esteja ligado ao fato do ponto de coleta encontrar-se sombreado pela fachada da entrada do parque de Pituaçu.

O pH consiste num parâmetro indicador do equilíbrio químico presente no meio aquático, cujo os seus valores caracterizam o ecossistema como neutro, ácido ou alcalino (ALBUQUERQUE, 2015; COELHO et al., 2017).

A variação da faixa de pH pode estar associada a fatores como o aumento das concentrações de CO₂, dissolução de elementos presente nas rochas, oxidação da matéria orgânica, temperatura da água e até mesmo por ações antrópicas associadas ao lançamento de efluentes domésticos e industriais sem o devido tratamento (RIBEIRO et al., 2018; FONTANA et al., 2019). Os resultados contidos na Tabela 2 demonstram está de acordo com o orientado pela Resolução CONAMA n° 357/2005, classe 2. Com o pH entre os valores 7,20 e 7,63, pode-se inferir que a água das lagoas do Abaeté, Unijorge, Pituaçu, Frades e Patos detêm características neutras.

Os resultados encontrados para temperatura e pH, se assemelham com o detectado por Santos et al., (2015). Na ocasião, o estudo realizado na Lagoa do Bairro de Aparecida – MG relatou valores de temperatura e pH até 31,5 °C e 7,34.

A alcalinidade da água está diretamente ligada à sua capacidade de neutralizar os ácidos. Em termos gerais, o parâmetro indica a capacidade de tamponamento da água, ou seja, capacidade de resistir a mudanças de pH quando espécies de caráter ácido ou bases são adicionados à água. Com base na Cetesb (2016), os componentes predominantes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico (bicarbonatos e carbonatos) e os hidróxidos.

De acordo com os valores presente na Tabela 2, nota-se que além da variação, de modo geral, levando em consideração a exposição de influências antrópicas, as concentrações de alcalinidade das lagoas foram baixas.

Dessa forma, faz-se necessário enfatizar as concentrações de 18,6 mg/L e 21,4 mg/L detectadas nas lagoas da Unijorge e Frades.

Fundamentado no trabalho de Fontana et al., (2019), os valores encontrados podem estar associados a precipitação periódica ocorrida antes e no momento da coleta. Isso por que as chuvas, além de atribuir acidez, contribuem com a diluição de poluentes que, por sua vez, acarretariam no aumento dos níveis de alcalinidade.

Os sólidos totais dissolvidos (STD), determinam a quantidade de partículas orgânicas dissolvidas na água. Em tese é uma variável que tende a estar diretamente correlacionada com a condutividade, turbidez e cor. Além de afetar a aparência estética do corpo hídrico e alertar para possíveis fontes de lançamento de efluentes, elevadas quantidades de sólidos dissolvidos influem numa menor penetração de luz solar no ambiente, diminuindo assim a atividade fotossintética do meio (RICHTTER; NETTO, 2002; BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

Apesar de não ter violado o padrão de 500 mg/L proposto pela Resolução CONAMA nº 357/2005, os

valores de STD estiveram variando de maneira significativa entre as lagoas.

As maiores concentrações foram detectadas nas lagoas de Pituauçu (266, 67 mg/L), Patos (212,00 mg/L) e Abaeté (153,73 mg/L). Já as lagoas da Unijorge e Frades, obtiveram menores concentrações, cerca de 30,8 e 91,87 mg/L (Tabela 2).

Assim como para STD, os valores associados a Condutividade Elétrica apresentaram oscilações (46,17 – 400, 33 µS/cm) relevantes e em consonância com o parâmetro, ou seja, a lagoa que teve maior concentração de STD, obteve maior CE (Tabela 2).

Nesse sentido foram detectados 400,33 µS/cm (Pituauçu), 316 µS/cm (Patos), 232,33 µS/cm (Abaeté), 137,87 µS/cm (Frades) e 46,27 µS/cm (Unijorge). O mesmo comportamento entre as variáveis foi notado nos trabalhos de Alves, Martins e Bispo (2019) e Fontana (2019).

Tabela 2. Resultados analíticos das variáveis físico-químicas e valores orientados pela Resolução Conama nº 357/2005 classe 2.

Parâmetros	Unidade	CONAMA nº 357/2005 Classe 2	Lagoas				
			Abaeté	Unijorge	Pituauçu	Frades	Patos
Temperatura	°C	-	30,50	30,00	27,50	29,00	29,00
pH	-	6,0 a 9,0	7,33	7,55	7,63	7,23	7,20
Alcalinidade	mg/L	-	38,60	18,60	56,00	21,40	48,00
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	500 mg/L	153,73	30,80	266,67	91,87	212,00
Condutividade Elétrica	(µS/cm)	-	232,33	46,27	400,33	137,87	316,00
Cloreto	mg/L	250 mg/L	142,00	61,06	180,34	130,64	109,34
Dureza	mg/L	-	62,60	11,40	118,00	40,60	108,60

Fonte: Autores (2020)

No ano de 2018, o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia (INEMA), publicou um relatório de monitoramento da qualidade da água das lagoas urbanas de Salvador-BA. Nesse contexto, foram avaliados os parâmetros físico-químicos semelhantes (temperatura, pH, condutividade e sólidos totais) nas lagoas de Pituauçu e Abaeté. Observa-se que os resultados se assemelham ao encontrado nesta pesquisa. Na lagoa de Pituauçu os valores estiveram na seguinte faixa: temperatura (29,6 – 29,7 °C), pH (6,96 – 7,25), condutividade (323,2 – 323,3 µS/cm) e sólidos totais (218-256 mg/L). Lagoa do Abaeté: temperatura (29,7 – 30 °C), pH (7,91 – 8,04), condutividade (323,2 – 323,3 µS/cm) e sólidos totais (216 – 218 mg/L).

Ainda que para o tratamento de água, o cloro represente um elemento desinfectante, responsável pela eliminação de microrganismos patogênicos, quando encarado como uma variável sanitária, o parâmetro sugere a existência de lançamentos de esgotos *in natura* (FRANCHINI; GOMES, 2017; RIBEIRO et al., 2018). Os teores de cloreto quantificados nas lagoas em estudo não ultrapassaram o estabelecido (250 mg/L), tendo sua ocorrência na faixa de 61,06 a 180,34 mg/L (Tabela 2). Destaca-se que para as lagoas dos Frades e Patos, onde foi observado a existência de canais de drenagem, estruturas onde há a possibilidade de ligações clandestinas de redes de esgoto doméstico, as concentrações não foram as maiores. A dureza elucidada sobre os níveis de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) existentes nos corpos hídricos.

Quando encontrado em grandes quantidades, estima-se que a biota aquática detenha maior resistências a possíveis elementos tóxicos inseridos no meio. Nesse contexto, a dureza pode ser classificada como mole ou branda: < 50 mg/L de CaCO₃; dureza moderada: entre 50 mg/L e 150 mg/L de CaCO₃; dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de CaCO₃; e muito dura: >300 mg/L de CaCO₃ (BRASIL, 2014). De acordo com a Tabela 2, a dureza das lagoas esteve oscilando significativamente entre 11,4 e 118 mg/L. Com base nos resultados, é possível afirmar que as lagoas da Unijorge (11,4 mg/L) e Frades (40,6 mg/L) possuem dureza mole, Abaeté (62,6 mg/L), Pituauçu (188,0 mg/L) e Patos (108,6 mg/L), moderada.

Os valores referentes aos níveis de dureza e cloreto desta pesquisa não concordam com os detectados por Júnior, Alves e Gama (2011). Na investigação, os autores encontraram na Lagoa de Bela Vista, Paraíba, concentrações de dureza no intervalo de 600 a 800 mg/L e cloreto no intermédio de 1531 a 7267 mg/L.

Espécies de Carbono Inorgânico

A distribuição das espécies de carbono inorgânico está diretamente associada as variações de pH existentes nos corpos hídricos (ESTEVEZ, 1999). Ainda conforme o autor, a característica associa-se as transformações de H⁺ ocorrida na faixa ácida, neutra e alcalina. Dada a relação diretamente proporcional entre a presença de H⁺ e pH, a partir do momento em que o pH denota tendência para

acidez, o H⁺ é transformado em CO₂, neutralidade (5-9), ocorre a conversão do H⁺ em íon de carbonato.

Em seguida, nos intervalos (9-14) onde o pH se torna alcalino, o H⁺ é convertido em carbonato.

As Equações 10 e 11 apresentam as transformações do íon H⁺.

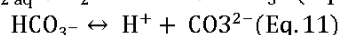
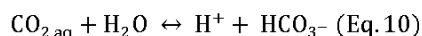


Tabela 3. Determinação das espécies de carbono inorgânico, concentrações e predominância.

Lagoas	pH	Alcalinidade Total (mol/L)	Carbono Inorg. Dissolvido (mol/L)				Predominância (%)		
			CO ₂	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	CIDtotal	CO ₂	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
Abaeté	7,33	3,86E-04	4,05E-05	3,85E-04	3,86E-07	4,26E-04	9,50	90,41	0,09
Unijorge	7,55	4,80E-04	1,17E-05	1,85E-04	3,08E-07	1,97E-04	5,95	93,90	0,16
Pituaçu	7,63	5,60E-04	2,94E-05	5,57E-04	1,12E-06	5,88E-04	4,99	94,82	0,19
Frades	7,23	2,14E-04	2,83E-05	2,14E-04	1,70E-07	2,42E-04	11,68	88,25	0,07
Patos	7,2	1,86E-04	6,79E-05	4,79E-04	3,56E-07	5,47E-04	12,41	87,52	0,07

Fonte: Autores (2020)

Dada faixa de pH (7.2 – 7.83) neutra encontrada nas lagoas de Abaeté, Unijorge, Pituaçu, Frades e Patos, é possível notar a ocorrência predominante de carbono inorgânico na forma de íons de bicarbonato - HCO₃⁻ (Tabela 3). Diante da correlação direta com o pH, considerando o intervalo de 6.5 a 8.5, foi observado que quanto maior o parâmetro, maior o domínio de HCO₃⁻ entre as espécies e menor a existência de CO₂ (ESTEVES, 1999). Tal fenômeno também foi observado por Mortatti et al., (2006) e Soares et al., (2016).

É importante salientar que, o domínio de HCO₃⁻ não incide diretamente em maiores concentrações de Carbono Inorgânico Total (CIDtotal), sendo essa, uma variável dependente das condições ambientais de cada ecossistema (Tabela 3). A análise é melhor entendida quando identificado os resultados referentes as lagoas da Unijorge e Patos. Embora na primeira, o ecossistema apresente o HCO₃⁻ num percentual de 93,9%, a concentração equivale a menor obtida entre as lagoas, 1,97x10⁻⁴mol.L⁻¹. Na lagoa dos Patos, o valor (%) do HCO₃⁻ foi o menor, contudo, a taxa (5,47x10⁻⁴mol.L⁻¹) de CIDtotal foi a segunda maior, estando atrás somente da lagoa de Pituaçu 5,88x10⁻⁴mol.L⁻¹ (SORRIBAS et al., 2012). Avaliando a predominância CO₂ e CO₃²⁻, também se verificou consonância com o proposto por Esteves (1999). Dada a Tabela 3, para o CO₂ na medida em que o pH diminui, a presença no meio aumenta. Já para o CO₃²⁻, quando os níveis de pH vão aumentando, é observado tendência no aumento da predominância (MORTATTI et al., 2006; SOARES et al., 2016).

Partindo para as concentrações, estima-se que os resultados de CO₂ superiores aos de CO₃²⁻ estejam associados a precipitação ocorrida dias antes e no momento da amostragem (DALMAGRO et al., 2007). Num contexto geral, Sorribas et al., (2012), relata que em condições ideais de umidade, a incidência das chuvas favorece a solubilidade do carbono, aumentando, portanto, suas concentrações nos corpos hídricos.

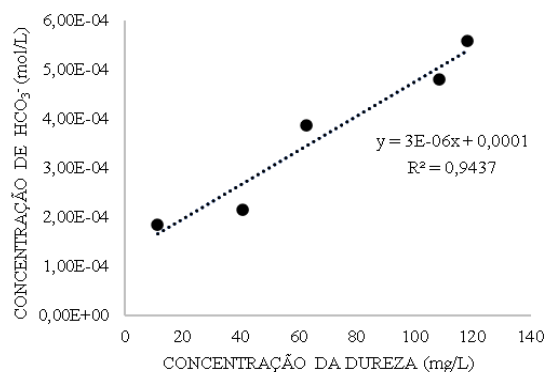
Tomando como parâmetro a lagoa de Pituaçu, partindo para uma análise do ponto de vista ecossistêmico, dada a identificação visual de uma possível eutrofização das lagoas do Abaeté, Frades e Patos, estima-se a existência de baixas concentrações OD no meio (baixa atividade fotossintética).

Nesse sentido, uma vez que o parâmetro possui relação com a carência de carbono dissolvido na água, era de se esperar que os níveis de CIDtotal dessas lagoas fossem acarretados em valores menores (SOARES et al., 2016). Tal análise corrobora para o seguinte aspecto, embora os valores encontrados no modelo utilizado para a determinação das concentrações considerem somente os parâmetros de pH e alcalinidade, observa-se que para uma melhor caracterização, outras variáveis devem ser envolvidas.

Baseado no contexto, haja vista que a dureza da água pode decorrer da presença do cálcio associado aos íons de bicarbonato (HCO₃⁻), analisando os resultados das Tabelas 2 e 3, é observado que as concentrações de dureza e HCO₃⁻ das lagoas em estudo mantém consonância. A Figura 4 demonstra a relação existente entre as variáveis.

Mediante a análise, é observado a existência de comportamento linear, onde o valor de R² (0,94) aponta correlação significativa, determinando dependência entre os níveis de dureza e HCO₃⁻.

Figura 4. Relação entre as concentrações de dureza (mg/L) e HCO₃⁻ (mol/L) das lagoas em estudo



Autores (2020)

Comparando os resultados com os encontrados por Mortatti et al., (2007), as concentrações de carbono inorgânico total encontrado nas lagoas de Pituaçu, Abaeté e Patos podem ser consideradas típicas de áreas urbanizadas.

Mesmo o autor tendo realizado o estudo num ambiente fluvial (rios), onde a dinâmica do meio e as reservas de CO₂ são possivelmente maiores que num sistema lântico (lagoas), os achados de 5,88x10⁻⁴, 4,26x10⁻⁴ e 5,47x10⁻⁴ mol/L estiveram situados em intervalos maiores ou aproximados a encontrada para alguns pontos.

Os autores não afirmam se as concentrações foram obtidas em tempo seco ou chuvoso.

Conforme a localização, a exposição das lagoas, as interferências antrópicas tendem a modificar a dinâmica do ecossistema, corroborando com a inserção de externalidades que afetam o ciclo do carbono no ambiente aquático.

Fatores como o uso e ocupação do solo e emissões atmosféricas, tornam a análise das concentrações cada vez mais complexas. Além disso, o posicionamento geográfico das lagoas (situadas em zona litorânea), constitui outro fator relevante, podendo atribuir maiores perdas de carbono para a atmosfera.

Na pesquisa de Felix (2014), realizados em lagoas costeiras húmicas, o principal objetivo consistiu em entender se os ambientes possuem características em maior parte de sequestro ou exportação de carbono para a atmosfera.

Em tese, o autor concluiu que as lagoas exportavam CO₂ para a atmosfera numa taxa maior que a de sequestro, onde a diferença entre os volumes estavam atrelados às características de cada ecossistema. Sendo assim, é de consenso que a prerrogativa não pode ser generalizada e que a compreensão das concentrações detectadas em cada ambiente deve ser focada em estudos específicos.

Conclusão

Considerando os resultados encontrados nessa pesquisa, dada a análise dos parâmetros físico-químicos é possível concluir que, embora em termos de qualidade ambiental, os valores tenham denotado acordo com o orientado pela Resolução CONAMA nº 357/2005, Classe 2, pôde-se notar que a alcalinidade das lagoas se apresentou baixa.

Para uma melhor caracterização, faz necessário a análise de parâmetros como demanda bioquímica por oxigênio (DBO), demanda química por oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), fósforo e nitrogênio.

Quanto a determinação das espécies de carbono inorgânico, a predominância de íons de carbonato (HCO₃⁻) demonstrou conformidade com a faixa de pH encontrada nas lagoas.

Entretanto, partindo para as concentrações, conclui-se que essas estão condicionadas a múltiplos fatores decorrentes das particularidades apresentadas por cada ecossistema, logo, para um melhor entendimento, é recomendado a realização de estudos que permitam elucidar sobre as variáveis associadas as taxas de fluxo do carbono nas referidas lagoas e que compreendam o comportamento frente o período seco e chuvoso.

Referências

- ALBUQUERQUE, T. N. **Estudo preliminar da correlação de dados de qualidade da água do Rio Cocó em Fortaleza -CE**. 2015. 62f. Monografia (Especialização em Saneamento Ambiental), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- ALVES, L. S.; MARTINS, L. A.; JESUS, L. B. Avaliação da qualidade da água na bacia do rio Camarajipe (Salvador – Brasil): diagnóstico dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e determinação do IQA. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.6, n.1, p.71-80, 2019.
- BRASIL. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005. **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**. Ministério do Meio Ambiente, 7 de Out. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acessado em outubro/2019. 2019.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.
- CAVALCANTE, M. S. **Comportamento geoquímico do carbono dissolvido sob diferentes condições de maré no estuário do Rio Jaguaribe**. 2013. 69f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice – E significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Cetesb 2016, 10 de Out. Disponível em <<https://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>>. Acessado em outubro/2019. 2019.
- COELHO, D. A.; SILVA, A. R. S. S.; CASTRO, T. O.; SANTOS, R. C. G.; PASSOS, A. S. Análise da alcalinidade total e concentração de carbono inorgânico em trechos urbanos de rios: o exemplo do rio Santa Rita, região sudoeste da Bahia. **Anais do VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2015.
- COELHO, S. C.; DUARTE, A. N.; AMARAL, L. S.; SANTOS, P. M.; SALLES, M. J.; SANTOS, J. A. A.; SOTERO-MARTINS, A. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 156-167, 2017.
- DALMAGRO, H. J.; MUNHOZ, K. C. A.; LAMY, R.; FÁTIMA, M. F.; SALIMON, C. I.; KRUSCHE, A. V.; AKEMI, U. C.; DUARTE, K. U.; GOMES, A. L.; SANTOS, V. A.; SANCHES, L.; SOUZA, N. Dinâmica do carbono inorgânico nos rios Teles Pires e Cristalino na Bacia Amazônica. **Ciência e Natura**, vol. 29, p. 115-127, 2007.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FELIX, R.W. **Fluxos de metano e dióxido de carbono em lagoas costeiras húmicas: uma abordagem espaço-temporal**. 2014. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Macaé.
- FRANCHINI, C.; GOMES, G. Avaliação do fluxo hidrológico dos rios Lajeado Bonito e Limeira comparando atividades urbanas e rurais sobre a qualidade da água. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 1, 2017.
- FONTANA, A. C. D.; PEREIRA, I. A.; NETO, A. R. P.; OLIVEIRA, D. F.; NASCIMENTO, M. M.; SANTOS, A. G. Investigação de indicativos da qualidade da água em trechos dos rios urbanos Lucaia e Jaguaribe em Salvador, Bahia, Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, n. 8, 2019.

GUIMARÃES, J.R. **Determinação e especiação de carbono inorgânico em águas naturais e atmosfera por análise em fluxo**. 1995. 114 f. Tese (Doutorado em Química) Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

INEMA. Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia. **Qualidade da água e estado trófico das lagoas urbanas de Salvador-Ba**. Disponível em <<http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Relat%C3%B3rio-Anual-Lagoas-de-Salvador-2018.pdf>>

JÚNIOR, L. R. P.; ALVES, G. S.; GAMA, J. S. N. Diagnóstico da qualidade da água da lagoa de Bela Vista no Município de Cuité, Paraíba. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n. 4, p. 046-061, out./dez. 2011.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; OLIVEIRA, H.; BIBIAN, J. P. R.; FERNANDES, A. M. Fluxo de carbono inorgânico dissolvido no rio Piracicaba (São Paulo): partição e reações de equilíbrio do sistema carbonato. **Geociências**, v. 25, n. 4, p. 429-436, 2006.

PIERINI, S. A.; THOMAZ, S. M. Adaptações de plantas submersas á absorção de carbono inorgânico. **Acta bot. bras.** v. 18, n. 3, p.629-641, 2004.

RIBEIRO, A.R.; SANTOS, A.G.; NETO, A.R.P.; OLIVEIRA, D.F. Estudo diagnóstico de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de águas subterrâneas em áreas distritais do município de Catu, recôncavo da Bahia. **Exatas Online**, v.9, p.25-38, 2018.

RICHEY, J.E.; HEDGES, J.I.; DEVOL, A.H.; QUAY, P.D.; VICTORIA, R.L.; MARTINELLI, L.A.; FORSBERG, B.R. Biogeochemistry of carbon in the Amazon river. **Limnology & Oceanography**, v. 35, n. 2, p.352-371, 1990.

RICHTTER, C.A.; NETTO, A.J.M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

SALOMONS, W.; MOOK, W.G. Isotope geochemistry of carbonates in the weathering. **Handbook of environmental isotope geochemistry**. Ed. Elsevier, v. 2, p. 239-269, 1986.

SANTOS, C. P.; FONSECA, S. F.; SANTOS, D. C.; TRINDADE, W. M. Avaliação da qualidade da água superficial da Lagoa do Bairro Nossa Senhora Aparecida – Pirapora/ MG a partir de parâmetros físico-químicos. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 17, n. 2, p. 36-53, 2015.

SOARES, A. S. S.; DOURADO, A. A.; SILVA, A. R. S.; TORRES, F. S. Determinação de carbono inorgânico em águas naturais da represa de luíz vieira do município de Rio de Contas – Bahia. **Anais do XIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**, 2016.

SOUSA, E.S. **Fluxo evasivo de CO₂ em ambientes fluviais no sudoeste da Amazônia, Acre, Brasil**. 2013. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade de São Paulo. Piracicaba.

SOUZA R. S.; MOTTA MARQUES, D. M. L.; FRAGOSO JR, C. **Modelagem ecológica na avaliação de processos e fluxos da dinâmica do carbono em lagos e reservatórios**. Anais do Congresso Brasileiro de Limnologia, Natal, 2011.

SORRIBAS, M. V.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, D. M.; JUNIOR, C. R. F.; CASTRO, N. M. R.; SOUZA, R. S. Modelagem distribuída de carbono em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V. 17, n. 3, p. 225-240, Jul/Set, 2012.

TERRA, J., ROSSI, A. V. Sobre o desenvolvimento da análise volumétrica e algumas aplicações atuais. **Quím. Nova**, v.28 n.1 São Paulo Jan./Feb. 2005.