



## FERRO (Fe), ALUMÍNIO (Al) E SILÍCIO (Si) AO LONGO DO BAIXO RIO AMAZONAS, DE ÓBIDOS-PA A FOZ, EM DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS

Vitória B. Silva<sup>1</sup>; Emile G. Gonçalves<sup>2</sup>; Joel E. M. Diniz<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

E-mail: [vitoriabs015@gmail.com](mailto:vitoriabs015@gmail.com)

**Palavras-chave:** Fluxo hidroquímico, Rio Amazonas, Sazonalidade

### 1 Introdução

A bacia hidrográfica do Amazonas é a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ramificando-se por todos os países do norte da América Latina, desde os sopés andinos até o Oceano Atlântico (Eva; Huber, 2005), contando com  $25.10^3$  km de rios navegáveis em cerca de  $7.10^6$  de km<sup>2</sup>, dos quais  $3,8.10^6$  estão no Brasil (Val et al., 2010; IBGE, 2007). Portanto, esta bacia continental estende-se por quase todo o norte da América do Sul, concentrando aproximadamente 63 % de sua extensão em território brasileiro (Kohlhepp, 2002). Dada a dimensão continental da bacia amazônica, sua escala hidrográfica exige normalmente uma abordagem complexa sobre os processos biogeoquímicos da água, bem como suas interações com a paisagem e a atmosfera.

Esta pesquisa teve como objetivo conhecer a fluxo de Ferro (Fe), Silício (Si) e Alumínio (Al) influenciados pela sazonalidade no canal principal ao longo do baixo Rio Amazonas, além de complementar os estudos já realizados no médio e alto Rio Amazonas, aumentando assim a área de amostragem, abrangendo o trecho compreendido entre a cidade de Óbidos no oeste do Estado do Pará até a foz do Rio Amazonas entre os Estados do Amapá e Pará, melhorando a série histórica de dados, como uso de novas técnicas e metodologias de análises de água e sedimentos, auxiliando diferentes áreas de conhecimento no entendimento da dinâmica e composição do Rio Amazonas.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

As coletas de água e sedimentos para as análises química e a medida do fluxo hidrodinâmico do Rio Amazonas foram realizadas durante os meses de maio (inverno amazônico) e novembro (verão amazônico) de 2019, julho (verão amazônico) de 2020 e fevereiro inverno amazônico) de 2021 , em um trecho de aproximadamente 800 km (Fig.1).

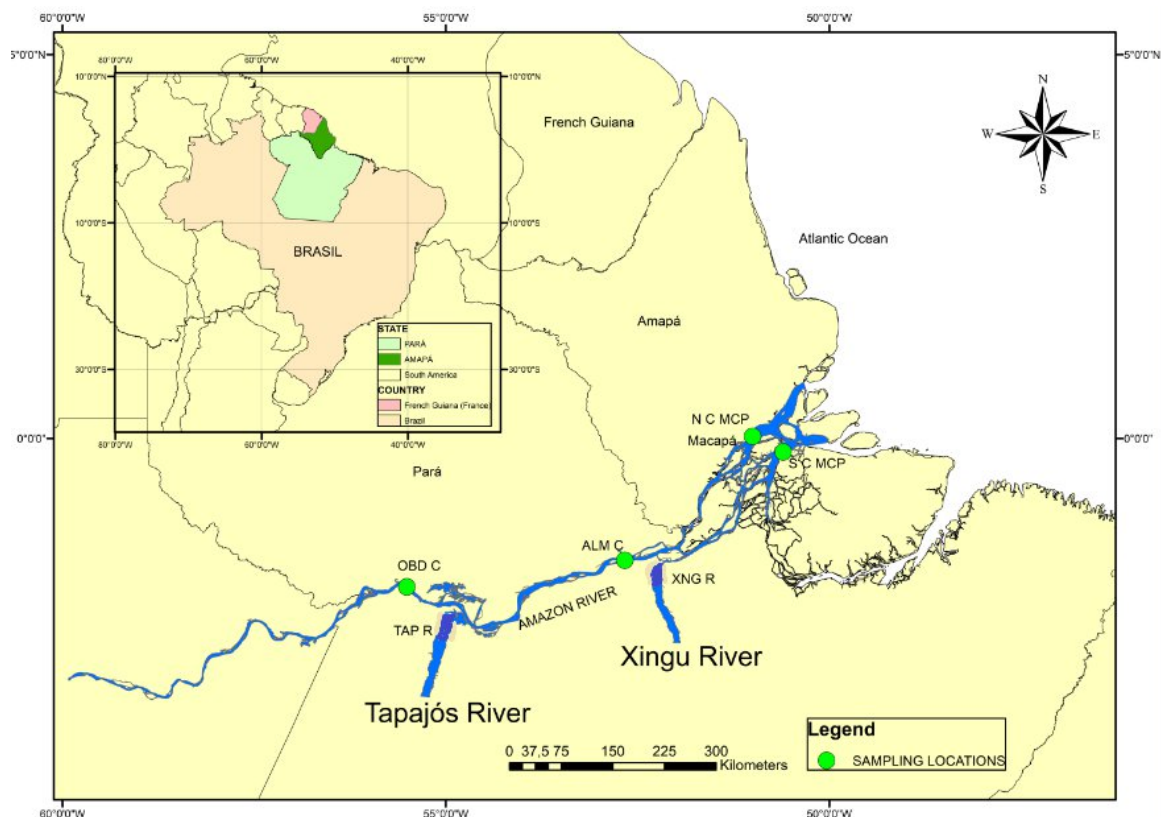


Figura 1: Percurso de realização das amostragens de água e sedimentos e fluxo hidrodinâmicos ao longo do baixo Rio Amazonas.

### 2.2 Amostragem e análises físico-químicas

Todas as técnicas analíticas utilizadas nas análises das amostras coletadas no Rio Amazonas e afluentes foram usadas as técnicas da AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA, 1999). Em cada canal foram realizadas 06 (seis) coletas de amostragens, 02 (duas) na margem direita, 02 (duas) na esquerda e 02(duas) no centro do rio, sendo uma amostragens na superfície a aproximadamente, 50 centímetros do espelho d'água e outra a 60% da profundidade totaldo canal medida a partir da superfície. O perfil de profundidade do rio foi medido com o ecobatímetro Garmim GPS 420.

As amostras de profundidade foram obtidas pela imersão de uma bomba peristáltica (SHURflo 1.5 GPM) até a profundidade calculada. Para as amostragens das águas superficiais foi usado o mesmo procedimento de profundidade, somente a bomba coletora (Rule 360 GPH) é diferente.

As análises dos parâmetros químicos. As análises químicas das amostragens foram feitas com uma combinação de cromatografia iônica (Dionex DX-500), espectroscopia de emissão óptica com plasma acoplado (ICP-OES, Jobin Yvon Horiba, ULTIMA2e colorimetria (Foss Tecator automatizado do sistema FIA, 5000 FIAStar. Os parâmetros carbono orgânico e inorgânico dissolvido e concentrações de nitrogênio total são determinadas com Shimadzu TOC Analyzer TOC-VCPH.

### **3 Resultados e Discussão**

As características hidrodinâmicas e biogeoquímicas do trecho de 800 Km correspondente ao longo do baixo Rio Amazonas entre a cidade de Óbidos, oeste do Estado do Pará e a foz do Rio Amazonas em seus canais norte e sul entre os Estados do Amapá e Pará podem apresentar diferenças significativas quanto a sua pluviometria. Distribuem-se em dois períodos distintos da região amazônica: inverno amazônico, de janeiro a junho, com uma máxima de 450 mm em março/abril e verão amazônico, nos meses restantes, quando ocorre uma redução significativa da pluviosidade na região, com um mínimo de 26 mm em setembro/outubro (Kuhn et al., 2010; Souza; Cunha, 2010; Souza et al., 2009). Os totais pluviométricos, apresentaram média entre 2.500 mm<sup>ano</sup><sup>-1</sup> e 3.000 mm<sup>ano</sup><sup>-1</sup>, nos períodos de coleta o índice pluviométrico registrado em Macapá foi superior ao registrado em Óbidos, mas ambos foram inferior a média anual registradas pelo INMET nos últimos 30 anos (1960-1991), indicando que esta ocorrendo redução gradual no nível de chuva na região. Na foz do Rio Amazonas, no período chuvoso incidem mais de 85% das precipitações registradas anualmente (Brito, 2013).

#### **3.1 Vazão (Q)**

Na primeira coleta realizada em 12 de fevereiro de 2020, período de estiagem ou verão amazônico que tem com principal característica, elevada temperatura e pouca chuva na região o fluxo hídrico ou vazão média registrada no canal norte do rio Amazonas foi de aproximadamente 68.413 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ou 5.910.883.200 m<sup>3</sup> em um dia, já o volume hídrico registrado na coleta realizada no dia 15 de setembro de 2020 onde o

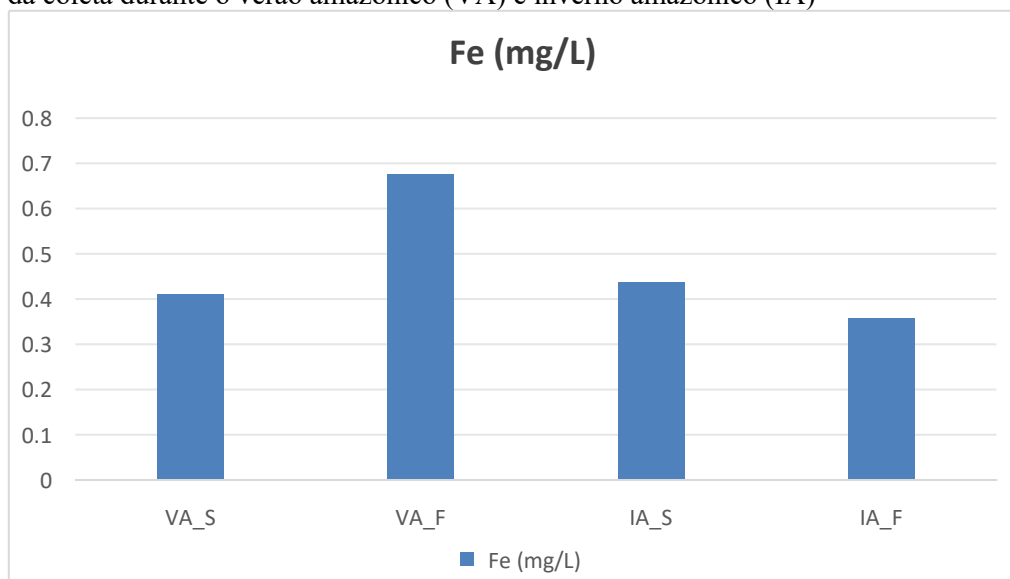
índice pluviométrico é elevado, o que caracteriza o inverno amazônico, foi de 134.643 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ou 11.633.155.200 m<sup>3</sup> em um dia.

O trecho em estudo do Rio Amazonas apresentou diferença significativa em relação ao seu nível de pluviosidade. A região apresenta dois períodos climáticos distintos: inverno amazônico, ocorrendo de janeiro a junho, com máxima de 450 mm nos meses de março e abril, e um verão amazônico seco (menos chuvoso), onde pode haver redução significativa no nível pluviométrico, atinge um mínimo de 26 mm. Os totais pluviométricos apresentaram média entre 2.500 mm ano<sup>-1</sup> e 3.000 mm ano<sup>-1</sup>, nos períodos de coleta a temperatura média mensal do ar foi de, aproximadamente, 26,0 ± 0,4°C, com máxima de 32 ± 0,7°C e mínima de 22,0 ± 0,3°C (Costa et al., 2013).

### 3.2 Ferro (Fe)

No período da coleta do inverno amazônico o fluxo de ferro (fig. 02) presente a 30 cm na superfície ou espelho d'água do canal norte do rio Amazonas registrou uma concentração de 0,436 mg.L<sup>-1</sup> ou 2.577.145,0752 mg.m<sup>-3</sup>, já para análise da amostragem em relação a profundidade a 60% (20,4 m) do total de profundidade do rio que foi de 34 metros, o valor foi de 0,356 mg.L<sup>-1</sup> ou 2.104.256,619,mg.m<sup>-3</sup> Já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma concentração de 0,410 mg.L<sup>-1</sup> ou 4.769.593.632 mg.m<sup>-3</sup> na superfície e 0,676 mg.L<sup>-1</sup> ou 11.633.155,200 mg.m<sup>-3</sup> na profundidade (60% (12,5 m)) do rio Amazonas ao longo do dia.

**Figura 02:** Dados do elemento Ferro (Fe) registrado no canal norte do rio Amazonas no período da coleta durante o verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)



**Fonte:** Silva, Diniz, 2026

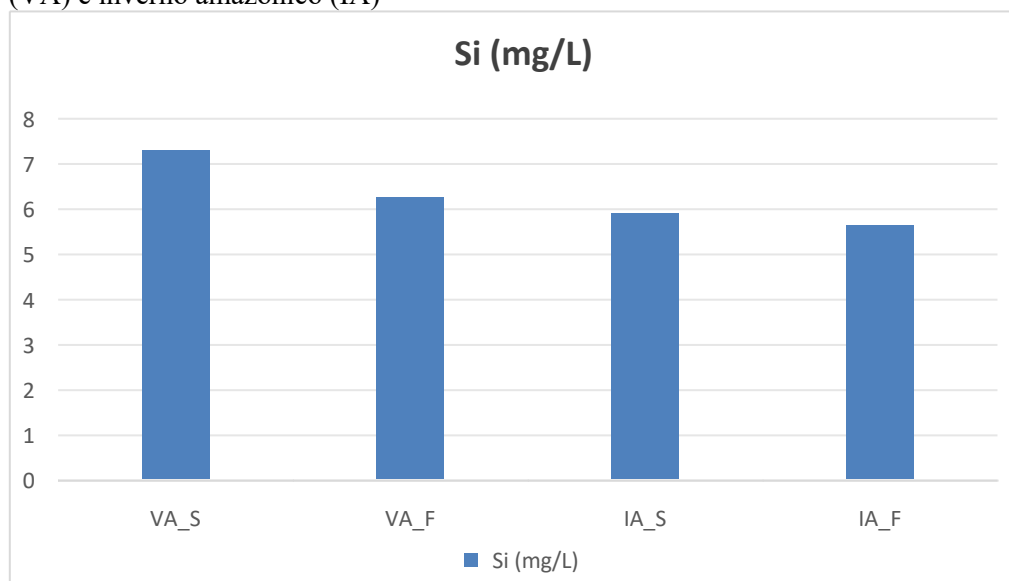
O ferro (Fe), metal pesado, foi encontrado com baixa concentração nos canais analisados, foi encontrado, principalmente, na forma de sais férricos e ferrosos, como cloretos e sulfatos, bastante solúveis na água, já que são facilmente oxidados em águas naturais de superfície, formando hidróxidos férricos insolúveis, favorecendo a floculação/decantação ou serem adsorvidos superficialmente, razão pela qual há ocorrência de sais de ferro em águas superficiais (Macedo, 2003, Diniz, 2018).

A decomposição de folhas e galhos libera ácidos húmicos e fúlvicos, contribuindo para a coloração e presença do ferro. Poços, especialmente com mais de metros e mal construídos, frequentemente apresentam níveis elevados de ferro devido à dissolução de rochas. O consumo excessivo de água com alto teor de ferro (acima de 0,3 ppm, limite recomendado) pode causar diarreia, vômito e lesões digestivas. Em áreas como a Vila do Elesbão (AP), o ferro, junto com outros metais, pode ser prejudicial a organismos, interferindo no metabolismo. Estudos indicam que, além do ferro, outros elementos como arsênio e manganês também podem atingir níveis elevados em poços da região, tornando a análise da água fundamental (Melo et al., 2008).

### **3.3 Silício (Si)**

No período da coleta do inverno amazônico o fluxo de silício (fig. 03) presente a 30 cm na superfície ou espelho d'água do canal norte do rio Amazonas registrou uma concentração de  $5,912 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $68.775.213,542 \text{ mg.m}^{-3}$ , já para análise da amostragem em relação a profundidade a 60% (20,4 m) do total de profundidade do rio que foi de 34 metros, o valor foi de  $5,643 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $65.645.894,793 \text{ mg.m}^{-3}$ . Já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma concentração de  $7,313 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $85.073.263,977 \text{ mg.m}^{-3}$  na superfície e  $6,260 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $72.823.551,552 \text{ mg.m}^{-3}$  na profundidade (60% (12,5 m) do rio Amazonas ao longo do dia.

**Figura 03:** Dados do elemento silício (Si) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)



**Fonte:** Silva, Diniz, 2026

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante encontrado na descarga hídrica do rio Amazonas, perdendo apenas para o cálcio, isso é explicado pela composição geoquímica do solo classificado como latossolo argiloso e arenoso, com sedimentos ricos em silicatos (Ker, 1998). Além de ser importante ao ambiente aquático por ser um elemento nutritivo para algumas espécies, pois entra na composição de frústulas, espículas e outras estruturas de espécies planctônicas e não representa um poluente em potencial (Siqueira et al., 2003). Apesar de sua importância o Si não apresentou correlação com a vazão ou outro parâmetro biogeoquímico analisado, mas apresentou distribuição normal, variabilidade sazonal e sem variabilidade espacial ao longo do trecho (Diniz, 2018).

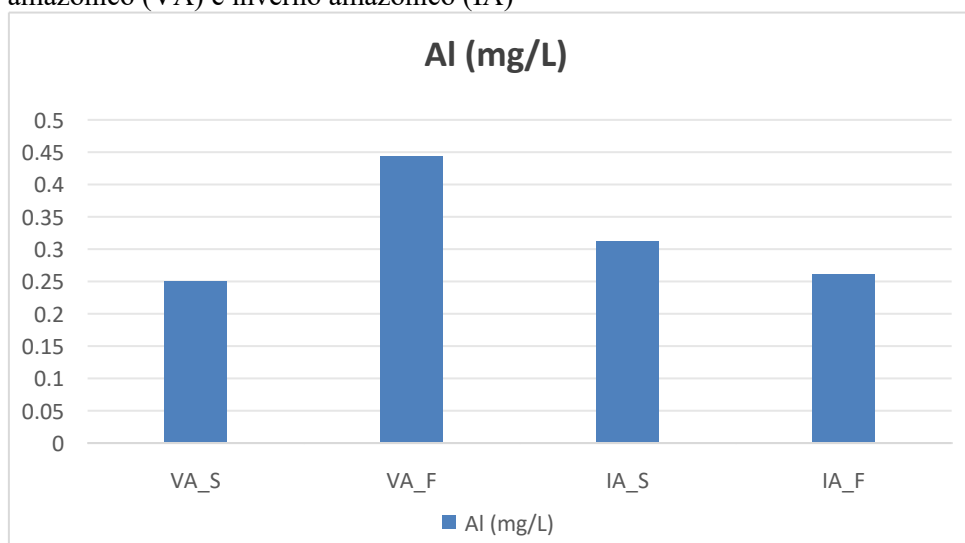
O silício é natural em minerais da crosta terrestre (quartzo, aluminossilicatos), liberado para as águas. Pode estar presente como sílica dissolvida (ácido silícico) ou sílica coloidal, suspensa na água. Em algumas regiões, como no Amapá, resíduos de mineração (ferro) abandonados podem aumentar a presença de materiais inorgânicos no rio, gerando riscos à saúde de populações ribeirinhas. Embora o rio tenha variações naturais de pH e oxigênio, a presença de metais e compostos inorgânicos, como a sílica particulada, é motivo de preocupação (Lazzerini, Bonotto, 2014)

### 3.4 Alumínio (Al)

No período da coleta do inverno amazônico o fluxo de alumínio (fig. 04) presente a 30 cm na superfície ou espelho d'água do canal norte do rio Amazonas

registrou uma concentração de 0,312 mg.L<sup>-1</sup> ou 3.629.544,422 mg.m<sup>-3</sup>, já para análise da amostragem em relação a profundidade a 60% (20,4 m) do total de profundidade do rio que foi de 34 metros, o valor foi de 0,261 mg.L<sup>-1</sup> ou 3.036.253,507 mg.m<sup>-3</sup>. Já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma concentração de 0,25 mg.L<sup>-1</sup> ou 2.908.288,8 mg.m<sup>-3</sup> na superfície e 0,443 mg.L<sup>-1</sup> ou 5.153.487,753 mg.m<sup>-3</sup> na profundidade (60% (12,5 m)) do rio Amazonas ao longo do dia.

**Figura 04:** Dados do elemento alumínio (Al) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)



**Fonte:** Silva, Diniz, 2026

O alumínio (Al) é outro elemento analisado que apresentou baixa concentração no canal norte do rio Amazonas entre Macapá-Ap e a Ilha do Marajó-Pa. É um dos principais constituintes dos componentes atmosféricos, em particular de poeiras derivadas de solos e partículas originadas da combustão de carvão (Figueiredo, 2002). Na água o Al é complexado e influenciado pelo pH, temperatura, presença de íons fluoretos e sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes, é pouco solúvel em pH com caráter ácido (5,5 e 6,0) podendo apresentar maiores concentrações em profundidade em que o pH seja ainda mais ácido (pH < 5,5), o que pode favorecer organismo anaeróbico (Camilleri et al., 2003, Diniz, 2018). O Al apresentou o mesmo comportamento do Fe, sem uma distribuição normal (p > 0.05), sazonal (p < 0.05) ou espacial (p < 0.05) no trecho estudado.

Estudos indicam que níveis elevados de alumínio e outros metais, como o manganês, em poços da região, muitas vezes resultam de processos naturais. No entanto, atividades humanas, como o garimpo e o descarte de rejeitos, também

contribuem, com relatos de impacto na fauna, como a presença de resíduos em arraiais no Amapá. A ingestão de água com níveis altos de alumínio pode levar a problemas graves, incluindo anemia e alterações neurológicas (Braga, et al., 2020)

#### **4 Conclusão**

O estudo realizado nas águas do baixo Rio Amazonas mostrou que a sazonalidade do trecho estudado sofre com modificações na sua respectiva pluviometria ocasionado pelo excesso ou ausência de chuva. A vazão no inverno amazônico no período de coleta foi de aproximadamente  $68.413 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ou  $5.910.883.200 \text{ m}^3$  em um dia, já o volume hídrico registrado na coleta realizada no período de verão amazônico foi de  $134.643 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  ou  $11.633.155.200 \text{ m}^3$  em um dia.

O fluxo de Ferro (Fe) no inverno amazônico registrou uma concentração de  $0,436 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $2.577.145,0752 \text{ mg.m}^3$ , já no verão amazônico registraram uma concentração de  $0,410 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $4.769.593.632 \text{ mg.m}^3$  do rio Amazonas ao longo do dia dentro da media registrada em todos os períodos de coleta

O Silício (Si) é o segundo elemento mais presente na água e sedimentos ao longo do percurso do rio, no período da coleta no inverno amazônico mostrou um fluxo de  $5,912 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $68.775.213, 542 \text{ mg.m}^3$ , já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma concentração de  $7,313 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $85.073.263,977 \text{ mg.m}^3$  do rio Amazonas ao longo do dia essa concentração está relacionada a formação do solo do rio.

O Alumínio (Al) no período da coleta do inverno amazônico o fluxo no rio Amazonas registrou uma concentração média de  $0,312 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $3.629.544,422 \text{ mg.m}^3$ , já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma media de concentração de  $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$  ou  $2.908.288,8 \text{ mg.m}^3$  ficando próxima da média registrada no médio e alto rio Amazonas ao longo do dia.

#### **Agradecimentos**

A Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado do Amapá (FAPEAP), Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Laboratório de Química Ambiental e Saneamento do Curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Centro de Energia Nuclear em Agricultura (CENA).

## Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20.ed. Washington: **American Public Health Association**;AWWA; WPCF, 1569p. 1999.

BRAGA, E.A.S. et al.. Águas Subterrâneas - **Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas**, 2020

CAMILLERI, C. et al. Silica Reduces the Toxity of Aluminium to a Tropical Freshwater Fish (Mogurnda Mogurnda). **Chemosphere Magazine**, n. 50, p. 355-364, 2003

COSTA, A. C. L.; SILVA JR,J. A.; CUNHA, A. C.; GALBRAITH, D.; FEITOSA, J. R. P.; MATTOS, A. Distribuição geoespacial e horária da temperatura do ar na cidade de Belém, estado do Pará, Brasil. **Brazilian Geographical Journal**, v. 4, n. 1, p. 150 –168,2013.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; BRASIL Jr, A. C.; PINHEIRO, L. A. R.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, SANTOS, E.; KRUSCHE, A. V. Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin. **Hydrodynamics - Natural Water Bodies**, p. 67-88. 2012

DINIZ, J. E. M. Hidrodinâmica e biogeoquímica no baixo amazonas: de Óbidos a foz Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Amapá, **Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biodiversidade (BIONORTE)**. 96 f. 2018.

EVA, H. D.; HUBER, O. Proposta para definição dos limites geográficos da Amazônia. Luxemburgo: **Comunidades Européias**, 2005.

FIGUEIREDO, G. J. A. Potenciais Fatores de Risco ao Meio Ambiente e à Saúde Relacionados a Resíduos de Alumínio na Água de Abastecimento (Bruta e Tratada) para Consumo Humano na Grande João Pessoa. In: **I Congresso Internacional Sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 2002.

IBGE (2007) IBGE participa do mapeamento da verdadeira nascente do rio Amazonas. [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_impressao.php?id\\_noticia=908](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=908): acesso em 17 de fevereiro de 2021.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, 5:17-40, 1998.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 37-61, 2002.

KUHN, P. et al. Previsão Numérica Operacional no Estado do Amapá utilizando o BRAMS. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; CUNHA, H. F. A. (Eds.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos** - Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Macapá-AP: IEPA, p. 61 – 82, 2010.

LAZZERINI, FÁBIO TADEU. BONOTTO, DANIEL MARCOS. O silício em águas subterrâneas do Brasil. The silicon in Brazilian groundwater. *Ciência e Natura*, Santa Maria. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM** v. 36, n. 2, p. 159-168, mai/ago. 2014.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 2 ed. Belo Horizonte-MG, 2003.

MELO, MARCEL; COSTA, BYRON; AQUINO, OSWALDO DE. Remoção de ferro e sílica de água subterrânea visando geração de vapor: estudo de caso. In: **XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2008.

SOUZA, E. B.; CUNHA, A. C. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; CUNHA, H. F. (Eds.). **Tempo, clima e recursos hídricos: Resultados do projeto REMETAP no Estado do Amapá**. Macapá-Ap: IEPA, p. 177-195, 2010.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, R. A.; GUIMARAES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

VAL, A. L.; VAL, V. M. F. A.; FEARNSTIDE, P. M.; SANTOS, M. , PIEDADE, M. T. F., JUNK, W.; NOZAWA S. R.; SILVA, S. T.; DANTAS, F. A. C. Amazônia: Recursos hídricos e sustentabilidade. p.95-109. In: Bicudo, C.E.M., Tundisi, J.G. & Scheuenstuhl, M. C. B. (eds.) **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. Instituto de Botânica, São Paulo. p. 222. 2010.

.

.

.