



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ROGÉRIO DA SILVA SANTOS**

**Variação temporal da carga de nutrientes e clorofila no baixo São Francisco  
para os anos de 2008, 2009 e 2010**

**MACEIÓ-AL  
2020**

**ROGÉRIO DA SILVA SANTOS**

**Variação temporal da carga de nutrientes e clorofila no baixo São Francisco  
para os anos de 2008, 2009 e 2010**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros

MACEIÓ-AL  
2020

**Catálogo na fonte Universidade Federal  
de Alagoas Biblioteca Central  
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237v Santos, Rogério da Silva.

Variação temporal da carga de nutrientes e clorofila no  
Baixo do São Francisco para os anos de 2008, 2009 e 2010 /  
Rogério da Silva Santos. – 2020.

91 f. : il. color.

Orientador: Paulo Ricardo Petter Medeiros.

Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal  
de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio  
Ambiente. Maceió, 2020.

Bibliografia: f. 71-76.

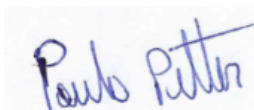
Anexos: f. 77-91.

1. Rios - Nutrientes. 2. Eutrofização. 3. Clorofila -  
Análise. 4. São Francisco, Rio. I. Título.

CDU: 911.2:556

**Folha de Aprovação****AUTOR: ROGÉRIO DA SILVA SANTOS****VARIAÇÃO TEMPORAL DA CARGA DE NUTRIENTES E  
CLOROFILA NO BAIXO SÃO FRANCISCO PARA OS ANOS DE  
2008, 2009 E 2010**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.



Professor Doutor Paulo Ricardo Petter Medeiros (orientador)

**Banca Examinadora:**

Professora Doutora Ana Paula Lopes da Silva (Examinador Interno)



Professor Doutor Carlos Ruberto Fragoso Júnior (Examinador Externo)

## AGRADECIMENTOS

Ao orientador Professor Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros.

Aos professores e funcionários do IGDEMA.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia/UFAL, pelo suporte durante o curso.

Aos Professores Ana Paula Lopes da Silva e Carlos Ruberto Fragoso Júnior pelas sugestões que contribuíram com esse trabalho.

À Fapeal e Capes por bolsa concedida ao mestrando.

À classe trabalhadora brasileira, pela manutenção da universidade pública gratuita.

À minha família.

## RESUMO

A construção de barragens para geração de energia hidroelétrica no rio São Francisco formou uma cascata de barragens e reservatórios ao longo do eixo principal do rio, modificando as vazões e o aporte de material em suspensão no Sub-médio e Baixo RSF. O presente trabalho avaliou a carga de fósforo ortofosfato, nitrogênio amônio, nitrito e nitrato no rio São Francisco durante os anos de 2008, 2009 e 2010, fez medição da concentração de nitrogênio e fósforo dissolvido, relacionou os valores da carga com a vazão e precipitação, analisou a concentração de clorofila e calculou o Índice de Estado Trófico para avaliar o nível de eutrofização no baixo rio São Francisco AL/SE – Brasil. A área estudada encontra-se a latitude 10°12' S e longitude 36°49' W, a 80 km a montante da foz e 100 km a jusante da Usina Hidrelétrica de Xingó. Neste estudo o Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e o Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID) podem ser considerados baixos quando comparados com outros rios tropicais. Após a conclusão da cascata de barragens e a regulação do fluxo dos rios após 1995, as cargas específicas de NID e PID diminuíram a níveis abaixo de rios tropicais que já possuíam cargas específicas mais baixas. O nitrito e a amônia apresentaram comportamento semelhante, apresentando maiores cargas nos meses de maiores vazões. As maiores estrapolações acima da média anual de nitrato ocorreram nos meses de maiores vazões, demonstrando haver relação entre aumento da vazão e elevação da carga mensal. Para fósforo ortofosfato não houve um comportamento padrão, ocorrendo estrapolações acima da média anual em anos de menores vazões. A comparação do rendimento (yield) de NID e PID do RSF com outros rios tropicais mostram que diferenças de gradiente, tamanho, cobertura vegetal e obras de engenharia tiveram efeitos diferentes sobre as cargas específicas de nutrientes. O Rio São Francisco apresentou rendimento abaixo de outros rios do mundo. Os valores obtidos mostram que o IET (Índice de Estado Trófico) médio nos três anos em estudo aponta o grau de trofia no Rio São Francisco para ultraoligotrófico, um estado trófico muito baixo, que são corpos de água limpos, com baixa produtividade, concentrações insignificantes de nutrientes sem prejuízos ao uso das águas.

**Palavras-chave:** carga; nutrientes; índice de estado trófico.

## ABSTRACT

The construction of dams for hydroelectric power generation on the São Francisco River formed a cascade of dams and reservoirs along the main axis of the river, modifying the flows and the supply of suspended material in the Sub-medium and Lower SFR. The present work evaluated the load of phosphorus orthophosphate, nitrogen ammonium, nitrite and nitrate in the São Francisco River during the years 2008, 2009 and 2010, measured the concentration of nitrogen and dissolved phosphorus, related the load values with the flow and precipitation, analyzed the chlorophyll concentration and calculated the Trophic State Index to assess the level of eutrophication in the lower São Francisco River AL / SE - Brazil. The studied area is at latitude  $10^{\circ} 12' S$  and longitude  $36^{\circ} 49' W$ , 80 km upstream from the mouth and 100 km downstream from the Xingó Hydroelectric Plant. In this study, Dissolved Inorganic Nitrogen (NID) and Dissolved Inorganic Phosphorus (PID) can be considered low when compared to other tropical rivers. After the completion of the dam cascade and the regulation of river flow after 1995, specific NID and PID loads decreased to levels below tropical rivers that already had lower specific loads. Nitrite and ammonia showed similar behavior, presenting higher loads in the months of higher flow. The greatest strays above the annual nitrate average occurred in the months with the highest flow rates, demonstrating a relationship between increased flow and increased monthly load. For orthophosphate phosphorus there was no standard behavior, occurring above the annual average in years of lower flow rates. The comparison of the yield (yield) of SFR NID and PID with other tropical rivers shows that differences in gradient, size, vegetation cover and engineering works had different effects on specific nutrient loads. The São Francisco River had a yield below other rivers in the world. The values obtained show that the average IET (Trophic State Index) in the three years under study indicates the degree of trophy in the São Francisco River for ultra-oligotrophic, a very low trophic state, which are clean bodies of water, with low productivity, insignificant concentrations of nutrients without prejudice to the use of the waters.

**Keywords:** charge; nutrients; trophic state index.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Bacia do Rio São Francisco, indicando setores fisiográficos e área de estudo.	24
Figura 2	Distribuição das vegetações no Baixo RSF-AL/SE.	26
Figura 3	Localização da área de estudo e estações de amostragem no setor inferior do rio São Francisco.	29
Figura 4	Precipitação no Sub-médio RSF para os anos de 2008, 2009 e 2010.	32
Figura 5	Precipitação no Baixo RSF para os anos de 2008, 2009 e 2010.	33
Figura 6	Vazões médias no Baixo São Francisco entre os anos de 1938-2010.	36
Figura 7	Vazão no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.	37
Figura 8	Relação entre precipitação e Amônio no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.	38
Figura 9	Relação entre precipitação e Nitrito no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010	39
Figura 10	Relação entre precipitação e Nitrato no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.	39
Figura 11	Relação entre precipitação e Fósforo Ortofosfato no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010	40
Figura 12	Relação entre precipitação e Clorofila <i>a</i> no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010	41
Figura 13	Comportamento do fluxo de Amônio no Rio São Francisco, nos anos hidrológicos de 2008, 2009 e 2010.	51
Figura 14	Relação entre vazão e carga de amônio no RSF em 2008	51
Figura 15	Relação entre vazão e carga de amônio no RSF em 2009.	52
Figura 16	Relação entre vazão e carga de amônio no RSF em 2010	52
Figura 17	Comportamento do fluxo de nitrito no Rio São Francisco, nos anos hidrológicos de 2008, 2009 e 2010.	54
Figura 18	Relação entre vazão e carga de nitrito no RSF em 2008.	54
Figura 19	Relação entre vazão e carga de nitrito no RSF em 2009	55
Figura 20	Relação entre vazão e carga de nitrito no RSF em 2010	55
Figura 21	Comportamento do fluxo de nitrato no Rio São Francisco, nos anos hidrológicos de 2008, 2009 e	57



	2010.	
Figura 22	Relação entre vazão e carga de nitrato no RSF em 2008	57
Figura 23	Relação entre vazão e carga de nitrato no RSF em 2009	58
Figura 24	Relação entre vazão e carga de nitrato no RSF em 2010	58
Figura 25	Comportamento do fluxo de fósforo ortofosfato no Rio São Francisco, nos anos hidrológicos de 2008, 2009 e 2010.	60
Figura 26	Relação entre vazão e carga de fósforo ortofosfato no RSF em 2008	60
Figura 27	Relação entre vazão e carga de fósforo ortofosfato no RSF em 2009	61
Figura 28	Relação entre vazão e carga de fósforo ortofosfato no RSF em 2010.	61

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Principais usinas hidroelétricas, volume de armazenamento das barragens no Rio São Francisco e ano de implantação.	21
Tabela 2	Classificação do estado trófico da água.	30
Tabela 3	Média anual, desvio padrão, mínimos e máximos da vazão da estação fluviométrica de Traipú nos quatro estágios hidrológicos.	35
Tabela 4	Concentrações medias mensais e anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2008.	43
Tabela 5	Concentrações medias mensais e anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2009.	45
Tabela 6	Concentrações médias mensais e anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2010.	47
Tabela 7	Médias anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2008, 2009 e 2010.	48
Tabela 8	Valores de N, P e Si (mg/l) para diversos rios, modificado de Meybeck ( 1982)	49
Tabela 9	Yield para NID.	62
Tabela 10	Yield para fosfato.	63
Tabela 11	Comparação das cargas específicas (yield) de NID e PID.	63
Tabela 12	Resultados da correlação de Spearman para vazão, carga de fósforo ortofosfato, carga de nitrogênio total e precipitação nos setores sub-médio e baixo SF nos anos estudados.	65
Tabela 13	IET, resultados possíveis e definições.	66
Tabela 14	Valores obtidos para IET.	67
Tabela 15	Caracterização trófica de lagos e reservatórios.	68

## ABREVIATURAS E SIGLAS

**ANA** - Agência Nacional de Águas

**Cl a** – Clorofila a

**CODEVASF**-Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

**CBHSF** - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

**CHESF** - Companhia Hidrelétrica do São Francisco

**CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IDH** - Índice de Desenvolvimento Humano

**IBAMA** - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

**IET** – Índice de Estado Trófico

**IMA/AL** - Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas

**LABMAR** - Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais

**Lat.** – Latitude

**Log I** - Limite Superior, na Base Logarítmica 10 de cada Parâmetro para o cálculo IET

**Log M** - Média, na Base Logarítmica 10, de cada Parâmetro para o Cálculo IET

**Log S** - Limite Superior, na Base Logarítmica 10, de cada Parâmetro para o Cálculo – IET

**Long.** - Longitude

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente

**N** - Nitrogênio

**NID** - Nitrogênio Inorgânico Dissolvido

**NT** - Nitrogênio Total

**P** – Fósforo

**pH** - Potencial hidrogeniônico

**PIB** - Produto Interno Bruto

**PID** - Fósforo Inorgânico Dissolvido

**PT** - Fósforo Total

**TSS** - Total Suspended Solids (Sólidos totais dissolvidos)

**µg/l** - em Miligrama por litro

**UFAL** - Universidade Federal de Alagoas

**UTM** - Universal Transversa de Mercator

**YSI** - Yellow Springs Instrument

**WCD** - Relatório da Comissão Mundial de Barragens

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Objetivos .....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos específicos .....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1 . Qualidade de água de rios .....	16
2.2 . Parâmetros indicativos de qualidade da água: fósforo, nitrogênio e clorofila a .....	17
2.3 . Fósforo .....	18
2.4 . Nitrogênio .....	19
2.5 . Clorofila a .....	20
2.6 . Evolução temporal da construção de barragens no Rio São Francisco .....	21
2.7 . A bacia hidrográfica do rio São Francisco .....	22
2.8 . Ameaças ao bioma Caatinga .....	23
3 . MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1 . Caracterização da área de estudo .....	25
3.1.1 . Localização: Baixo Rio São Francisco .....	25
3.1.2 .Clima .....	26
3.1.3 .Vegetação .....	26
3.1.4 .Geologia e geomorfologia do Baixo Rio São Francisco .....	28
3.1.5. Saneamento básico, indicadores socioeconômicos e população do baixo São Francisco .....	28
3.2 . Local de amostragem .....	29
4 . RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
4.1 Pluviosidade .....	32
4.1.1 . Pluviosidade no Sub-médio Rio São Francisco .....	32
4.1.2 . Pluviosidade no Baixo Rio São Francisco .....	33
4.2 . Vazões no rio São Francisco .....	35
4.2.1 . vazões no período de estudo .....	37
4.3 . Concentração de nutrientes e clorofila a em relação à precipitação durante os anos estudados .	38
4.4 . Concentrações de nutrientes e clorofila em comparação com os valores fixados pelo CONAMA.....	42
4.5 . Comparação com outros rios do Mundo .....	49

4.6 . Cargas .....	50
4.6.1 . Nitrogênio .....	50
4.6.1.1 . Resultados para nitrogênio amônio (NNH <sub>4</sub> ) .....	51
4.6.1.2 . Resultados para nitrogênio nitrito (NNO <sub>2</sub> ) .....	54
4.6.1.3 . Resultados para nitrogênio nitrato (NNO <sub>3</sub> ) .....	57
4.6.2 . Fósforo ortofosfato (PPO <sub>4</sub> ) .....	60
4.7 . Rendimento (Yield) .....	63
4.8 . Relação precipitação com cargas .....	65
4.9 . Índice de Eutrofização .....	66
CONCLUSÃO .....	71
REFERÊNCIAS .....	72
ANEXOS .....	78

## 1. INTRODUÇÃO

Rios possuem regime variável, tornando-se, em algumas regiões do planeta, crítico o abastecimento em períodos de estiagem. Com isso são construídos reservatórios, objetivando armazenar água durante a estação chuvosa, formando uma reserva hídrica para a estação seca (LANNA, 2009).

A World Commission of Dams (WCD, 2000) estima que em torno de 60% dos 227 maiores rios do mundo foram muito, ou moderadamente afetados por represas, desviados ou canalizados, causando efeitos sobre os ecossistemas e adjacentes. Miranda (2001) aponta haver aproximadamente 60.000 reservatórios distribuídos pelo mundo com um volume maior que  $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ , abrangendo uma superfície de cerca de  $400.000 \text{ km}^2$  e mais de 2.800 destes reservatórios têm um volume superior a  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Hanasaki *et al* (2006) estimam que 593 reservatórios no mundo apresentam um volume igual ou superior a  $1.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Os números apresentados mostram que das grandes bacias hidrográficas distribuídas no mundo, poucas escaparam de um sistema de represamento (COELHO, 2008).

No Brasil, há no curso principal do Rio São Francisco diversas obras de engenharia voltadas para a geração de energia elétrica, ao abastecimento d'água, a navegação e à proteção contra enchentes, destacando-se as barragens, que alteram o regime hidrológico do rio, modificando a vazão líquida e sólida à jusante, devido o fato de reter grande parte dos sedimentos. No Brasil são construídas barragens em muitos rios para abastecimento de populações, irrigação de terras e, principalmente, produção de eletricidade. O país possui um elevado potencial hidroelétrico (213.000 MW) tendo como potencial instalado 133.977 MW (CUNHA e GUERRA, 2006).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco abrange áreas dos Estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, ocupando uma área total de  $638.466 \text{ km}^2$ , o equivalente a 7,5% do território nacional. Os primeiros estudos sobre as características ambientais do rio São Francisco datam de 1936. Estudos sobre pluviosidade datam de 1931.

As mudanças no padrão de descarga do rio contribuíram para que ocorressem alterações nas condições hidrodinâmicas à jusante das barragens. No fim dos anos 1990, 66% das matas originais na Bacia do Rio São Francisco haviam sido retiradas e a produção pesqueira no Baixo São Francisco havia reduzido em 90%, devido aos sucessivos barramentos no curso do rio (ANA, 2015).

Dentre os métodos utilizados para avaliação da qualidade da água, a pesquisa destaca a avaliação das cargas de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Fósforo Inorgânico

Dissolvido (PID), principais responsáveis pelo aumento de plantas aquáticas, potencializada pelas atividades antrópicas nas bacias hidrográficas, o que pode causar eutrofização em ecossistemas aquáticos continentais (ESTEVEES e AMADO, 2011; ESTEVEES e PANOSO, 2011). Outro fator importante são as concentrações de clorofila, que são indicativos da existência de biomassa e a principal variável indicadora de estado trófico em ambientes aquáticos (GONÇALVES, 2008).

## **1.1 . Objetivos**

### **1.1.1 . Objetivo Geral**

Avaliar carga de nitrogênio (N) e fósforo (P) e concentração de clorofila no Baixo Rio São Francisco durante os anos de 2008, 2009 e 2010.

### **1.1.2 . Objetivos específicos**

- Medição da concentração de nitrogênio e fósforo dissolvido durante os anos de 2008, 2009 e 2010.
- Calcular valores de carga de fósforo ortofosfato, nitrogênio amônio, nitrito e nitrato.
- Relacionar os valores da carga com a vazão e precipitação.
- Analisar a concentração de clorofila a.
- Calcular o Índice de Estado Trófico, visando avaliar o processo de eutrofização.

## 2 . REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 . Qualidade de água de rios

Uma característica natural dos rios é o transporte de sedimentos. Rios são os principais transportadores de materiais para as regiões costeiras, 70% do aporte mundial de sedimentos que vão para os oceanos partem dos rios (MILLIMAN, 1991). Embora a ordem de magnitude seja assunto controverso, devido à falta de monitoramento de rios menores. Estimativas globais são resultados de modelos e extrapolações, assim, é importante a realização de estudos locais e regionais para uma melhor estimativa de fluxos de nutrientes e matéria particulada (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Impactos de natureza antrópica como desmatamento, erosão, agricultura e construção de barragens alteram a vazão e o aporte de material em suspensão à jusante (MEDEIROS *et al.*, 2007). Conforme Souza *et al* (2011), “os rios Nilo e Ganges são exemplos clássicos, com grande perda de recursos pesqueiros, decaimento da produtividade primária, desestabilização da costa, e intrusão de água marinha nos seus deltas, após a construção de barragens”. Esses impactos se tornaram mais frequentes nas décadas de cinquenta, sessenta e setenta, do século XX, quando passou a haver grandes estímulos para a construção de barragens.

Diversos fatores naturais na bacia hidrográfica controlam a concentração de material em suspensão de um rio, destacando-se a geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal natural, uso do solo, fatores climáticos, dentre outros. Porém, as interferências antrópicas têm aumentado, chegando a um nível no qual os sistemas de drenagem não podem ser mais definidos somente por relações naturais, sejam climáticas ou geomorfológicas (SOUZA & KNOPPERS, 2003). Ações humanas como uso do solo e a retirada da cobertura vegetal natural, a depender de suas intensidades, tendem a alterar o transporte natural de sedimentos em uma bacia e seu transporte para os rios, comprometendo sua qualidade ambiental (MARINS *et al.*, 2007). Um fator importante na influencia do fluxo de material é a construção de barragens em rios (HALIM, 1991).

De acordo com Milliman (1991), os rios contribuem com aproximadamente 70% do aporte total mundial de sedimentos para o oceano, em torno de  $18 \times 10^9$  toneladas/ano. Este valor refere-se à contribuição dos grandes rios mais estudados, com exceção dos aportes de aproximadamente 20.000 rios de médio e pequeno porte, devido à falta de informações. Há uma escassez nos estudos de monitoramento locais e regionais, sobretudo sobre a natureza dos impactos decorrentes de ações antrópicas que afetam a descarga específica de sedimentos,



assim como o desmatamento, a erosão, a agricultura e a construção de barragens (VÖRÖSMARTY *et al.*, 1997; MEYBECK, 2001).

A água, enquanto elemento essencial à vida e manutenção do clima no planeta e possui qualidade variável, dependendo do local e condições que se encontra. Disponibilidade de água doce de boa qualidade representa possibilidade de desenvolvimento econômico, qualidade de vida para as populações humanas e sustentabilidade dos ciclos biogeoquímicos. Estimativas apontam que na América Latina apenas 2% das águas residuais são tratadas antes de ser distribuídas à população (ANA, 2005).

Rios são importantes conexões entre continentes e oceanos, transportam água, matéria particulada e dissolvida para os oceanos. A fração particulada (0,45  $\mu$ ) corresponde aos sedimentos em suspensão, que é o material litogênico de rochas e solos, minerais, matéria orgânica (C, N, P) alóctone ou autóctone, óxidos de Si, Al, Fe, Mn, poluentes (i. e metais) adsorvidos a partículas e matéria orgânica. A fração dissolvida (0,45  $\mu$ ) refere-se a nutrientes como nitrogênio (N), fósforo (F), carbono (C) e sílica (Si) inorgânicos dissolvidos, nutrientes orgânicos dissolvidos, frações coloidais, poluentes (i. e metais) dissolvidos (SOUZA *et al.*, 2011). Os materiais citados são importantes para a manutenção da produção biológica de ambientes aquáticos, sendo influenciado por clima, geomorfologia, geologia e vegetação, pedologia, uso do solo, dentre outros (MEDEIROS *et al.*, 2011).

A vegetação é elemento importante para a manutenção da qualidade da água de um rio, pois sua falta contribui para o processo de erosão, podendo ocorrer carreamento de toneladas de sedimentos para os canais fluviais, reduzindo a fertilidade dos solos com o transporte de nutrientes e matéria orgânica, isso contribui para a deterioração da qualidade da água dos rios e, finalmente, provoca inundações nas áreas mais baixas da bacia hidrográfica (BOTELHO e SILVA, 2004). Assim, sem alterações na paisagem, a infiltração permitirá a complementação do ciclo hidrológico, sendo absorvida pelos vegetais, abastecendo lençóis freáticos, recarregando os aquíferos e abastecendo os cursos d'água.

## **2.2 . Parâmetros indicativos de qualidade da água: fósforo, nitrogênio e clorofila *a***

O uso que se faz de um determinado recurso hídrico poderá refletir em suas características de qualidade. De acordo com Silva (2011) “a qualidade da água é o conjunto de requisitos que esta deve apresentar para que possa ser utilizada para determinado fim”. Atualmente, muitas atividades humanas estão dependentes da disponibilidade de água, como abastecimento doméstico, produção de alimentos (agricultura irrigada), abastecimento

industrial, navegação, dessedentação animal, dentre outras. As populações de grandes aglomerados urbanos são completamente dependentes da disponibilidade de água que atenda requisitos mínimos de qualidade e quantidade, a atual demanda por água busca atender os mais diferentes setores da sociedade (ESTEVEES e MENEZES, 2011).

Os principais nutrientes indicativos de redução da qualidade da água, por um processo de eutrofização, por exemplo, são o fósforo e nitrogênio (ESTEVEES e AMADO, 2011; ESTEVEES e PANOSO, 2011).

Fósforo e nitrogênio podem atuar como reguladores da produtividade primária aquática em águas continentais, regiões tropicais, subtropicais e temperadas. Características da localidade podem atuar em interferências às respostas dos produtores primários no enriquecimento de nitrogênio ou fósforo (ESTEVEES e PANOSO, 2011).

A clorofila *a* é um dos pigmentos responsáveis pelo processo de fotossíntese, sua concentração indica existência de biomassa. A mais comum dos tipos de clorofilas é a clorofila *a*. É considerada a principal variável indicadora da ocorrência de estado trófico em ambientes aquáticos. É um indicador de biomassa das algas, chegando a representar de 1 a 2% do peso das algas planctônicas secas (GONÇALVES, 2008).

### **2.3 . Fósforo**

O fósforo contribui em processos como armazenamento de energia, para estruturação da membrana celular, transferência de informação genética e metabolismo celular, processos esses fundamentais para os seres vivos (ESTEVEES e PANOSO, 2011). Devido a essas características, entende-se que o fósforo é responsável pela eutrofização artificial nos ambientes.

O P-total e P-orto são importantes compostos de fósforo. O P-total pode indicar o nível de trofia de um ambiente, enquanto o P-orto é conhecido como a principal forma de fosfato assimilada por vegetais aquáticos, microalgas e bactérias (ESTEVEES e PANOSO, 2011). O fosfato pode ter origem em fontes naturais, como rochas em ecossistemas continentais, e fontes artificiais.

O fosfato de origem natural está presente em minerais primários das rochas da bacia hidrográfica, 95% desse total está contido no mineral apatita. O fosfato é liberado por intemperismo, carregado por escoamento das águas superficiais e assim chega em diferentes ecossistemas nas formas solúvel e adsorvido às argilas (ESTEVEES e PANOSO, 2011). Outras maneiras de aporte de fosfato são a precipitação atmosférica e deposição do material

particulado.

As fontes artificiais de fosfato são maiores em grandes áreas industrializadas, com grande contingente populacional. A contribuição per capita diária de fósforo no Brasil, depositada em ambientes aquáticos é estimada entre 0,7 e 2,5 g (VON SPERLING, 2005).

## 2.4 . Nitrogênio

O nitrogênio é um dos principais elementos químicos da natureza (ESTEVES e AMADO, 2011). É encontrado na forma gasosa ( $N_2$ ), na atmosfera, tecidos vegetais e animais, não sendo absorvido diretamente pela maior parte dos organismos. O  $N_2$  é um dos elementos mais importantes para o crescimento dos organismos vegetais (FIGUEIRÓ, 2015), pois atua como material estrutural na formação dos tecidos vegetais. As emissões de  $N_2$  de origem antrópica se dão por meio da agricultura, com o uso de adubos nitrogenados, utilizado para incentivar o crescimento dos tecidos das plantas. A recente expansão de áreas agrícolas tornou-se um problema, causando carreamento de nitrogênio em excesso para diversos corpos d'água, favorecendo a proliferação de algas e plantas aquáticas.

Pode ser encontrado em diversas formas: nitrato ( $NO_3^-$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ), amônia ( $NH_3$ ), íon amônio ( $NH_4^+$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), nitrogênio molecular ( $N_2$ ), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc.), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos), entre outros. As principais fontes naturais de nitrogênio são: a chuva, material orgânico e inorgânico de origem externa e a fixação biológica no lago por bactérias e algas cianofíceas.

As principais formas para os produtores primários são as formas nitrato e íon amônio, consideradas as mais importantes, pois somente quando a concentração das formas inorgânicas de nitrogênio atingem valores baixos ou são esgotadas, as formas orgânicas são aproveitadas pelos organismos aquáticos (ESTEVES e AMADO, 2011).

Em ambientes aquáticos as principais formas reativas de nitrogênio encontradas são: nitrato ( $NO_3^-$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrogênio amoniacal ( $NH_4^+$ ). O nitrato ( $NO_3^-$ ) é o último estágio da oxidação de nitrogênio e sua forma de maior estabilidade química (GRASSHOFF, 1983), é um indicativo de poluição mais antiga (BRAGA *et al*, 2005).

O nitrogênio amoniacal ( $NH_4^+$ ) indica esgoto fresco não tratado na água, constituindo o grupo do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) (ESTEVES e AMADO, 2011).

Nos lagos de regiões temperadas, o Nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito apresentam relação direta com os processos de produção e decomposição. Sua distribuição vertical na

coluna d'água ocorre em função desses processos que são influenciados pelo comportamento térmico da massa d'água. Em lagos tropicais parece não existir relação muito forte entre a concentração de N-amoniacal e a produtividade, porém sim com a duração do período da estratificação térmica (ESTEVES e AMADO, 2011).

Nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato são formados pelos processos de decomposição, em reservatórios, apresentam grande acúmulo devido o processo de formação. Quando a vegetação local é inundada, a biomassa vegetal entra em decomposição, levando ao consumo de grandes quantidades de oxigênio, formando-se condições para dinâmica de formas nitrogenadas, resultando em acúmulo de nitrogênio nitrato, nitrito e amoniacal (ESTEVES e AMADO, 2011).

## **2.5 . Clorofila *a***

A clorofila *a* é um dos pigmentos dentre os demais responsáveis pelo processo de fotossíntese, se apresenta em todos os tipos e grupos taxonômicos de algas, sendo sua concentração um indicativo da existência de biomassa. O tipo mais comum das clorofilas é a clorofila *a*, esta é considerada a principal variável indicadora da ocorrência de estado trófico em ambientes aquáticos, é um indicador de biomassa das algas, que pode chegar a representar de 1 a 2% do peso das algas planctônicas secas (GONÇALVES, 2008).

Estudos apontam a produção primária dessas algas como as maiores entradas de matéria orgânica e energia potencial, necessários para que ocorra o funcionamento do sistema aquático. As concentrações de clorofila tem relação direta com a capacidade de fotossíntese dos produtores primários dos ecossistemas aquáticos, daí teores de clorofila ser indicadores de biomassa (WETZEL, 2000).

De acordo com Esteves (1998), a variação temporal do fitoplâncton é controlada por vários fatores, dos quais se destacam a disponibilidade de nutrientes e radiação subaquática. É comum ocorrer em estuários e águas litorais os nutrientes serem provenientes de drenagem terrestre e atividades antrópicas, estas contribuem para o desencadeamento de um processo de eutrofização cultural, onde aumentam as partículas dissolvidas na água, destas o nitrogênio e fósforo estimulam a produção da biomassa fitoplantônica, desde que haja intensidade luminosa suficiente.

## 2.6 . Evolução temporal da construção de barragens no Rio São Francisco

O impacto de barragens provocado ao meio ambiente é assunto de grande relevância, pois estas provocam alterações físicas, químicas e biológicas na água e nos sedimentos armazenados nos seus reservatórios, com isso, influenciando processos hidrológicos e biogeoquímicos nos rios, estuários e ecossistemas costeiros. Estudos mostram que as atividades humanas e as mudanças globais são importantes fatores que influenciam os fluxos de sedimentos, sendo a construção de barragens considerada a principal causa da redução dos fluxos de sedimentos para o oceano (MEDEIROS *et al.*, 2014)

Em rios represados, os principais impactos geomorfológicos devido ao controle das vazões ocorrem à jusante dos barramentos, causando alterações nas cargas de sedimentos (CUNHA, 2007). Como consequências os barramentos acarretam mudanças, sendo essas classificadas em primeira, segunda ou terceira ordem.

A construção de barragens para geração de energia hidroelétrica causou alterações nas condições naturais dos setores Sub-médio e Baixo São Francisco (MEDEIROS *et al.* 2011), formando uma cascata de barragens e reservatórios ao longo do eixo principal do rio. As barragens construídas (Tabela 1) provocaram modificações nas vazões e no aporte de matéria em suspensão no Sub-médio e Baixo RSF (MEDEIROS *et al.* 2007).

Mudanças de primeira ordem apresentam relação direta com as condições de fluxo efluente da barragem, carga líquida e de sedimentos, qualidade da água e plâncton. Mudanças de segunda ordem são alterações na forma do canal, na composição do substrato, população de macrófitas, entre outras. Mudanças de terceira ordem incluem populações de peixes e invertebrados.

No rio São Francisco foram identificados os seguintes impactos: a primeira ordem de mudanças ocorreu no regime hidrológico e sedimentológico. A segunda ordem apresentou relação entre aumento do poder erosivo do fluxo do canal ao entalhe do leito do rio. Com relação a terceira ordem, ocorreram mudanças no perfil longitudinal e no gradiente do rio, erosão nas margens, mudanças no perfil transversal e modificações na dinâmica da foz (CUNHA, 2007).

**Tabela 1: Principais usinas hidroelétricas, volume de armazenamento das barragens no Rio São Francisco e ano de implantação.**

Barragem	Volume (km <sup>3</sup> )	Ano
Três Marias	21	1952
Paulo Afonso I a IV	0,1	1955-1980
Sobradinho	34	1980
Itaparica	10,8	1988
Moxotó	1,2	1978
Xingó	3,8	1994

Fonte: Medeiros *et al.*, 2014

## 2.7 . A bacia hidrográfica do rio São Francisco

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação onde o escoamento converge para um único ponto de saída (SILVEIRA, 2009). O escoamento superficial ocorrido nas vertentes da bacia contribui para a erosão dos sedimentos, que são carregados pela água através da rede de drenagem juntamente com a carga de sedimentos produzidos nos leitos dos demais rios da bacia. Pode-se considerar a bacia hidrográfica um sistema físico, no qual ocorre entrada de certo volume de água precipitada e concentrada no tempo e volume de saída escoado pelo enxutório de forma mais distribuída no tempo (SILVEIRA, 2009).

O rio São Francisco enquadra-se na tipologia de rio de médio a grande porte (AB de  $640 \times 10^3 \text{ Km}^2$ ), de relevância ecológica, econômica e social, é utilizado na geração de energia elétrica, irrigação, navegação, abastecimento de água, pesca e aquicultura.

O rio São Francisco nasce no Estado de Minas Gerais, a 1.800 metros de altitude. Possui 2.863 km de extensão, 639.219 km<sup>2</sup> de área e corresponde a 7,5% do território Nacional (ANA, 2015). Deságua entre os Estados de Alagoas e Sergipe em latitude 10°36' S e longitude 36°23' W, onde a profundidade média é 14 metros (MEDEIROS *et al.*, 2007). Está dividido em quatro setores: Alto, Médio, Sub-médio e Baixo São Francisco.

Os climas nos setores do rio São Francisco são: Aw (tropical úmido) na parte alta, Aw-BShw no médio setor, BShw (semiárido) no submédio e AS (quente e úmido) no Baixo São Francisco.

## 2.8 . Ameaças ao bioma Caatinga

Atualmente 12% da população brasileira vivem na Caatinga, em torno de 27 milhões de habitantes, de acordo com dados da Codevasf (2014). A extrema pobreza de parte da população contribui para o desenvolvimento de atividades não sustentáveis, tais como o corte e queima de madeira para lenha, fabricação de carvão, caça predatória e remoção da vegetação nativa para criação de bovinos e caprinos provocam uma degradação do bioma.

Os solos da Caatinga vêm sendo convertidos em áreas de pastagens desde o início da colonização europeia. De acordo com Casteletti *et al.* (2004) as técnicas de irrigação que foram desenvolvidas nas últimas décadas para irrigação da fruticultura e plantações de soja têm provocado uma aceleração do processo de desertificação. Esses usos inapropriados do solo têm causado a desertificação em torno de 15% da área da região, o que representa ameaça à biodiversidade da Caatinga.

A pecuária ainda representa uma importante atividade econômica nas áreas rurais do semiárido nordestino. Isso tem afetado a regeneração da flora arbustiva e arbórea e a diversidade faunística.

Conforme Sampaio e Batista (2004), as áreas cobertas com vegetação nativa sofrem pouca erosão. Áreas onde ocorrem cultivos agrícolas e desnudas apresentam níveis de erosão elevados.

A Caatinga cobria originalmente 1 milhão de km<sup>2</sup>, atualmente restam em torno de 53% da cobertura vegetal natural, muitas dessas áreas distribuídas em fragmentos isolados, o que as torna mais suscetíveis à degradação (IBAMA/MMA, 2011).

Atualmente as principais ameaças à caatinga são o desmatamento (a extração vegetal para produção de madeira, lenha e carvão tem provocado o empobrecimento do solo e redução na diversidade de plantas), a caça (tem prejudicado a fauna silvestre), as queimadas (técnica tradicional para limpar o terreno, mas empobrece o solo) e a desertificação (resultado da grave degradação ambiental).

De acordo com Souza *et al* (2010) ocorrem as caatingas com baixo e alto níveis de antropismo e degradação. Alves *et al* (2009) aponta a utilização da caatinga como pastagem extensiva como causa de degradações fortes e por vezes irreversíveis, onde “são encontradas extensas áreas cuja vegetação já se encontra muito empobrecida, tendo perdido a diversificação florística que lhe é peculiar. Porém, quase sempre a regeneração não pode acontecer por causa da pressão humana intensa e constante”.

Atualmente, segundo Alves (2009) “o sertão se caracteriza por atividades econômicas

ligadas à pecuária e ao extrativismo minerais ambas as atividades caracterizadas pela forma extensiva de produção”. A agricultura tradicional continua sujeita ao clima da região, resultando em problemas de mercado. Assim, segundo Moreira *et al* (2007), a pecuária tornou-se a atividade principal no bioma caatinga, pois a vegetação nativa permite um consumo de matéria seca que atende as necessidades dos animais. Atualmente, muitas atividades econômicas são acompanhadas de desmatamentos indiscriminados da caatinga, comprometendo os recursos hídricos, causando erosão, salinização e compactação dos solos, redução da diversidade biológica e da produção primária, entre outros (ALVES, 2009).

Após várias décadas de uso impróprio e insustentável dos recursos naturais, a caatinga se tornou “um bioma muito desgastado e é considerado o ecossistema brasileiro menos estudado, menos conhecido cientificamente e menos conservado, conforme Alves (2009)”. Segundo Andrade (1989), o problema do sertão não é de ordem física, mas social. Então é preciso soluções técnicas e meios que permitam o sertanejo viver com as secas, estas só poderão ser aplicadas se houver forte vontade política em fazê-lo.



### 3 . MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 . Caracterização da área de estudo

##### 3.1.1 . Localização: Baixo Rio São Francisco

O setor do Baixo São Francisco estende-se de Paulo Afonso (BA) até a foz, entre Piaçabuçu (AL) e Brejo Grande (SE), uma área total de 30.337 km<sup>2</sup>, equivalente a 5% do total da área da bacia, a menor área das quatro subdivisões (Figura 1). O leito do rio corre encaixado em um cânion formado por rochas ígneas e metamórficas do pré-cambriano, indo até a cidade de Pão de Açúcar (AL). A partir daí o vale se alarga conforme se aproxima do litoral, percorre terrenos quaternários formados por depósitos aluviais e litorâneos com feição de formação deltaica (CUNHA, 2007).

A área estudada encontra-se a latitude 10°12' S e longitude 36°49' W, a 80 km a montante da foz e 100 km a jusante da Usina Hidrelétrica de Xingó. Área da ponte rodoferroviária entre os municípios de Porto Real do Colégio-AL e Propriá-SE.

**Figura 1. Bacia do Rio São Francisco, indicando setores fisiográficos e área de estudo.**



Fonte: ANA. Adaptação: Rogério da Silva Santos.

### 3.1.2 . Clima

Os setores são caracterizados, devido à extensão da bacia, por diferentes domínios climáticos. De acordo com a classificação de Köppen, clima tropical úmido do tipo Aw no Alto; do tipo Aw à BShw no Médio; tipo semiárido BShw no Sub-Médio, e do tipo AS, quente e úmido, no Baixo (Bernardes, 1951).

No território brasileiro registram-se elevados valores de pluviosidade, com valores superiores a 1.500 mm anuais e atingindo mais de 2.000 mm em 1/3 da área total do país. Apenas em uma parte do Nordeste registra-se menos de 1.000 mm anuais e em algumas regiões menos de 500 mm anuais de pluviosidade (CUNHA, 2006). A precipitação total anual no Baixo São Francisco varia de 1.250 mm a 1.500 mm, o período de maior pluviosidade em seu baixo curso é nos meses de maio a julho, sendo a temperatura média anual de 24° C (NIMER, 1972). Metade da região recebe menos de 750 mm e algumas áreas centrais menos de 500 mm (PRADO, 2003). Entre 50 e 70% das chuvas da caatinga são concentradas em três meses consecutivos, apesar da alta variação anual e dos longos períodos de seca ser frequentes. Da periferia para o centro da caatinga ocorre um aumento do número de meses secos, algumas áreas experimentam períodos de 7 a 11 meses de baixa disponibilidade hídrica (PRADO, 2003). As chuvas na caatinga costumam ser extremamente irregulares, o que resulta em secas periódicas. Esses longos períodos sem precipitação tornam a vida na Caatinga mais difícil para os habitantes da região e determinam mudanças adaptativas na biota da região.

### 3.1.3 . Vegetação

Quando se fala em Caatinga é importante, antes de tudo, se despir de alguns preconceitos, os quais os principais são aqueles relacionados aos aspectos da pobreza paisagística e da biodiversidade, características comumente adotadas por quem desconhece a riqueza e importância da “Mata Branca”, pois embora a diversidade de plantas e animais em ambientes áridos e semiáridos seja menor que nas florestas tropicais, o semiárido brasileiro possui características singulares e espécies únicas.

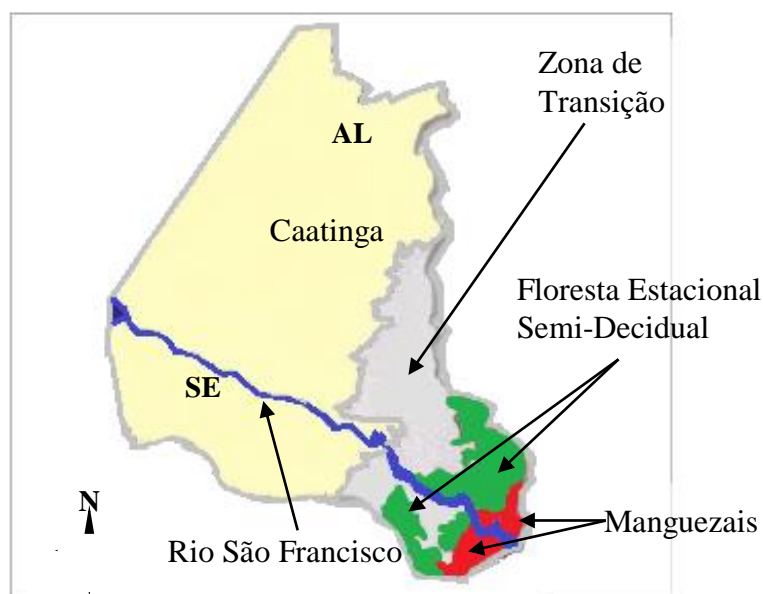
A caatinga se apresenta como um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas, sendo o único bioma que se encontra totalmente inserido dentro do território brasileiro, ocupando basicamente a Região Nordeste, com algumas áreas no Estado de Minas Gerais. Em toda sua extensão limita-se a leste pela floresta atlântica e a oeste pela floresta amazônica e ao sul pelo Cerrado.

De acordo com Ab'Sáber (2003) a caatinga brasileira, que é um dos três espaços semiáridos da América do Sul, se caracteriza “como um dos domínios de natureza de excepcionalidade marcante no contexto climático e hidrológico de um continente dotado de grandes e contínuas extensões de terras úmidas”. A vegetação de caatinga apresenta forte contraste em relação restante do território nacional, que é dominado por climas úmidos, subúmidos intertropicais e subtropicais.

A Caatinga brasileira compreende uma área de aproximadamente 734.478 Km<sup>2</sup>, o equivalente a cerca de 70% da região Nordeste (Figura 2) e 11% do território nacional. O termo caatinga tem sua origem no Tupi-Guarani e significa mata branca, o que remete à vegetação num período seco, quando as folhas caem (PRADO, 2003).

As características da formação vegetal da Caatinga são bem definidas: árvores baixas e arbustos, os quais normalmente perdem as folhas na estação das secas. É significativa a presença de cactáceas, adaptadas estruturalmente para armazenar água no seu interior. Algumas árvores possuem troncos tortuosos, recobertos por cortiça e espinhentos. As raízes, em geral, são superficiais, permitindo a captura do máximo de água durante chuvas leves. Como espécies mais comuns destacam-se a umburana (*Commiphoraleptophloeos*), a aroeira (*Schinusterebinthifolius*), o umbu (*Spondias tuberosa*), a baraúna (*Schinopsis brasiliensis*), a macambira (*Bromelialaciniosa*), o mandacaru (*Cereus jamacaru*), o xique-xique (*Pilosocereuspolygonus*), o facheiro (*Pilosocereuspachycladus*) e o juazeiro (*Ziziphusjoazeiro*).

**Figura 2. Distribuição das vegetações no Baixo RSF-AL/SE.**



Fonte: Junqueira, 2002. Adaptação: Rogério da Silva Santos.

Conforme Ab'Saber (2003), geomorfologicamente, a Caatinga se localiza nas depressões interplanálticas (300 - 500m), expostas a partir de sedimentos do Cretáceo ou Terciário que cobriam o escudo brasileiro basal do Pré-Cambriano. Apresenta fisionomia similar às regiões áridas do norte da Colômbia e Venezuela e da América Central (PRADO, 2003).

### **3.1.4 .Geologia e geomorfologia do Baixo Rio São Francisco**

No Baixo Rio São Francisco, conforme Cavalcanti (2010), ocorrem os subdomínios físico geográficos da Depressão Sertaneja Meridional, a Depressão da Faixa Sergipana, o Planalto Sedimentar Costeiro e a Planície Costeira do Nordeste.

Na Depressão Sertaneja Meridional, Cavalcanti (2010) identificou feições de pedimentos com ou sem cobertura (arenosa e/ou dentrítica), predominando os Planossolos Háplicos, Neossolos Regolíticos ou Litólicos e Luvisolos Crômicos sob caatinga hipoxerófila ou hiperxerófila, entre os pedimentos emergem *inselbergues* e *inselguebirgues* intercalados. Nas margens do Rio São Francisco ocorre uma paisagem insular que teve seu desenvolvimento sobre uma carga sedimentar armazenada num *gráben* transversal.

A Depressão da Faixa Sergipana tem sua origem no comportamento da Zona Interna da faixa de dobramentos Sergipana aos soerguimentos pós-paleozóicos e à história denudacional (CAVALCANTI, 2010).

O Planalto Sedimentar Costeiro foi gerado pela sedimentação costeira cenozoica, que enterrou as depressões que lhe antecederam e o paleoSubdomínio da Planície Alagoana (CAVALCANTI, 2010).

A Planície Costeira do Nordeste apresenta homogeneidade genética, dinâmica e estrutural em relação aos demais subdomínios (CAVALCANTI, 2010).

### **3.1.5 . Saneamento básico, indicadores socioeconômicos e população do baixo São Francisco**

Na bacia do rio São Francisco 94% de domicílios urbanos possuem canalização interna e são servidos por rede de água, os percentuais de domicílios urbanos com acesso a serviços de coleta de esgoto ultrapassam 45% no Alto, fica entre 10 a 45% no Médio e Sub-Médio, e no baixo São Francisco são inferiores a 20%. Os percentuais de esgotos urbanos tratados variam, na maior parte da bacia, entre 3 e 40%, semelhante a média nacional, 20,7%

(CBHSF, 2011).

O esgotamento sanitário representa um serviço deficiente na bacia do rio São Francisco, em municípios mais desenvolvidos ou nos mais estagnados economicamente, haviam cidades que apesar de existir rede coletora o esgoto não era tratado, sendo despejado posteriormente no rio São Francisco ou em seus afluentes (SILVA, 2018). Esgotos urbanos *in natura* contêm fósforo ortofosfato e fosfatos inorgânicos condensados. Houve casos do lixo, em alguns municípios, ser depositado próximo a áreas de proteção ambiental (IBGE, 2009).

A economia na bacia do rio São Francisco é diversificada, destacando-se a agricultura. Possui acentuados contrastes socioeconômicos, dos 456 municípios integrantes da bacia, cerca de 320 são economicamente pobres e apenas 33 tratam seus esgotos (ANA, 2011). Cerca de 16,14 milhões de pessoas (em torno de 9,5% da população do país) vivem na área da bacia hidrográfica do rio São Francisco, onde 77% da população moram em áreas urbanas e a densidade demográfica é de 22 hab/km<sup>2</sup> (CBSF, 2011).

### **3.2 . Local de amostragem**

O presente trabalho foi elaborado com a utilização de dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA/UFAL). Foram analisados dados coletados nos anos de 2008, 2009 e 2010 com periodicidade mensal, visando determinar a carga de fósforo, nitrogênio, a concentração de clorofila *a* e o IET (Índice de Estado Trófico).

As amostras foram coletadas (Figura 3) em uma estação próxima a ponte rodoferroviária entre as cidades de Propriá (SE) e Porto Real do Colégio (AL) (Lat. 10°12'S e Long. 36°49'W). A estação está localizada 80 km a montante da foz do rio São Francisco e 100 km a jusante da Usina Hidrelétrica de Xingó.

**Figura 3: Localização da área de estudo e estações de amostragem no setor inferior do rio São Francisco.**



Fonte: Google Earth, 2019.

As amostras foram coletadas com garrafa tipo Van Dorn, em acrílico, em sub-superfície, em torno de 20 centímetros abaixo da linha de água. O nitrogênio amônio, nitrito, nitrato, fosfato orto e o pigmento fotossintetizante clorofila *a*, foram determinados segundo Carmouze (1994).

A determinação do fluxo de material em suspensão e nutrientes foi segundo Medeiros *et al.* (2007).

$$F_m = Q C_i$$

Onde:

$F_m$  = fluxo momentâneo dos nutrientes ou material em suspensão *i*;

$Q$  = vazão ( $m^3/s$ );

$C_i$  = concentração do material em suspensão ou nutrientes.

Determinado o fluxo momentâneo ( $F_m$ ) do material *m*, foram estimadas as cargas diárias do material em suspensão e nutrientes, segundo  $Q_m = 0,0864 F_m$ , onde  $Q_m$  é a carga diária expressa em toneladas. A carga total mensal foi obtida pela multiplicação da carga diária  $Q_m$  pelo número de dias do mês em questão.

A vazão utilizada foi obtida da com o uso da plataforma HidroWeb (Estação49705000 - Propriá). Os gráficos e tabelas foram feitos com o uso do programa *Microsoft Office Excel*.

Para calcular o IET foram utilizados os valores de clorofila *a* e fósforo total, conforme Lamparelli (2004) (Tabela 2), onde a fórmula é:  $IET \text{ Médio} \rightarrow (IET \text{ Fósforo Total} + IET_{\text{Cl}})/2$ . Os parâmetros tróficos utilizados foram clorofila *a* e fósforo total. As equações a seguir representam os diferentes graus de trofia da água.

#### Rios

$$IET (CL) = 10x(6-((-0,7-0,6x(\ln CL))/\ln 2))-20$$

$$IET (PT) = 10x(6-((0,42-0,36x(\ln PT))/\ln 2))-20$$

#### Reservatórios

$$IET (CL) = 10x(6-((0,92-0,34x(\ln CL))/ \ln 2))$$

$$IET (PT) = 10x(6-(1,77-0,42x(\ln PT)/\ln 2))$$

Onde

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

CL: concentração de clorofila medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

In: logarítimo natural.

$$IET = [IET (PT) + IET (CL)]/2$$

**Tabela 2: classificação do estado trófico da água.**

Estado trófico	Critério	P- total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
<b>Ultraoligotrófico</b>	$IET \leq 47$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$
<b>Oligotrófico</b>	$47 < IET \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$
<b>Mesotrófico</b>	$52 < IET \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
<b>Eutrófico</b>	$59 < IET \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
<b>Supereutrófico</b>	$63 < IET \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
<b>Hipereutrófico</b>	$IET > 67$	$233 < P$	$69,05 < CL$

Fonte: LAMPARELLI (2004).

## **4 . RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 . Pluviosidade**

De acordo com Medeiros *et al.* (2011) e Medeiros *et al.* (2016), a localização geográfica da precipitação nas porções inferiores é mais importante para o fluxo de matéria particulada suspensa e nutrientes, do que a magnitude da precipitação, assim como a vazão gerada por essas precipitações. Isso decore da menor retenção de matéria pelo sistema de barragens em cascata em razão da precipitação se dar em porções mais inferiores da bacia. Esta precipitação que ocorre na região semiárida, onde os solos são rasos e o embasamento cristalino é perto da superfície, dificultando a infiltração, incrementando a lixiviação e erosão, resulta no maior carreamento de nutrientes. Em razão disso, nesse trabalho será avaliada a precipitação nos setores sub-médio e baixo SF.

#### **4.1.1 . Pluviosidade no Sub-médio Rio São Francisco**

Os valores de precipitação foram obtidos da estação pluviométrica 00940024, em Juazeiro-BA, sub-médio Rio São Francisco. Nos anos hidrológicos analisados (Figura 4) foram observados valores diferenciados, com baixas precipitações entre os meses de maio a novembro. A região em questão está localizada no semiárido, caracterizada por baixo índice pluviométrico, chuvas irregulares e escassas. Trata-se de um território vulnerável e sujeito a períodos críticos e de prolongadas estiagens, com várias zonas geográficas e diferentes índices de aridez (CBHSF, 2004).

O clima da região semiárida do Nordeste do Brasil se apresenta como fator de destaque, responsável pela variação dos outros elementos componentes das paisagens, como a vegetação e os processos de formação do relevo (ARAÚJO, 2011).

Os dados (Figura 4) mostram que na estação pluviométrica de Juazeiro, no sub-médio RSF, no ano de 2008 foi identificado entre janeiro e março valores de 95 e 285 mm respectivamente (figura 4). No mês de abril choveu 54 mm e entre os meses de maio a novembro ocorreu um período seco. Em dezembro choveu 63,1 mm. Janeiro, fevereiro e março estiveram acima da média anual, 52,85mm.

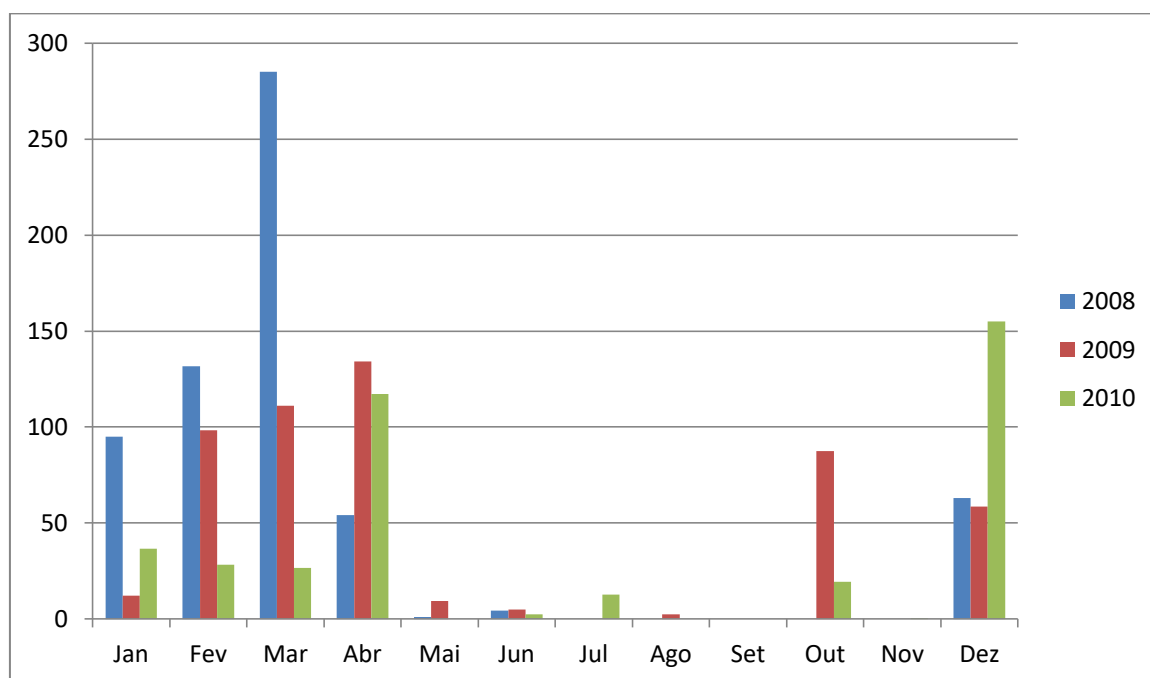
No ano de 2009 foi identificado entre janeiro e abril valores de 12,2 a 134,2 mm respectivamente (Figura 4). Entre os meses de maio e setembro se tem um período com baixas precipitações, voltando a chover mais em outubro, 87,6 mm. Novembro não apresentou



chuvas e em dezembro choveu 58,5 mm, menor que dezembro de 2008. Os meses de fevereiro, março, abril e outubro estiveram acima da média anual, 43,23mm.

O ano de 2010, semelhante aos anteriores, apresentou entre janeiro e abril valores de 12,2 a 134,2 mm respectivamente (Figura 4). Entre os meses de maio e setembro se tem um período com baixas precipitações, voltando a chover mais em outubro, 87,6 mm. Novembro não apresentou chuvas e em dezembro choveu apenas 58,5 mm, menor que dezembro de 2008, que foi 63,1 mm. Apenas abril e dezembro estiveram acima da média anual, que foi de 33,23 mm.

**Figura 4: Precipitação no Sub-médio RSF para os anos de 2008, 2009 e 2010.**



Fonte: pesquisa.

O ano que apresentou maior média de pluviosidade foi 2008, com 52,85 mm, com grandes precipitações mensais nos meses de janeiro, fevereiro e notavelmente no mês de março (Figura 4) A menor média ocorreu em 2010, 33,23 mm. Os meses mais chuvosos foram de dezembro a abril, entre maio e novembro ocorreram valores abaixo do período anterior.

#### **4.1.2 . Pluviosidade no Baixo Rio São Francisco**

Os dados de precipitação do setor Baixo São Francisco foram obtidos na estação 00937022, localizada em Piranhas-AL. Analisando os dados (Figura 5) se percebe que essa

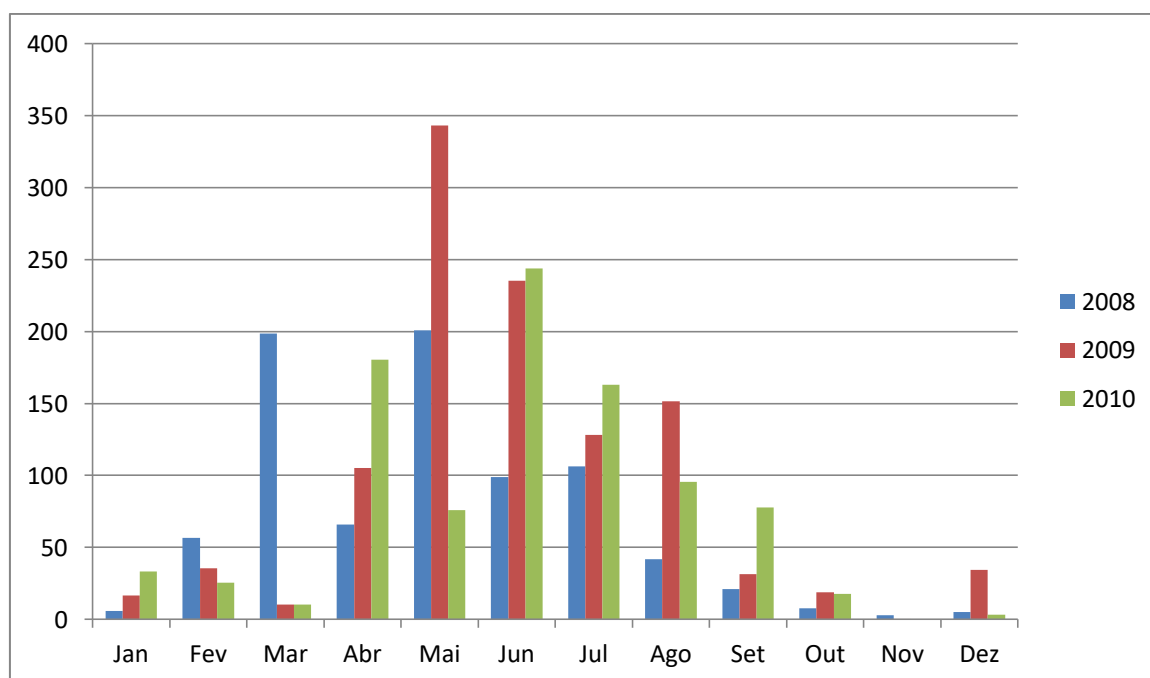
região apresenta comportamento diferente do sub-médio em todos os anos hidrológicos analisados. As médias anuais mostram que no baixo RSF, nos anos de 2008, 2009 e 2010 ocorreram maiores precipitações médias em relação ao sub-médio RSF.

No mês de janeiro de 2008, foram identificados 5,8 mm. Entre os meses de março e maio do mesmo ano ocorreram 198,7 e 200,7 mm respectivamente. Entre setembro e dezembro os números baixam, onde o maior valor registrado foi 21 mm em setembro e o menor foi 2,7 mm em novembro (Figura 5). Os meses de março, maio, junho e julho apresentaram valores acima da média anual, que foi de 67,6 mm.

De janeiro a março de 2009 os valores registrados estiveram abaixo de 50 mm. Entre abril e agosto de 2009 ocorrem maiores quantidades de chuva, destacando maio de 2009 com 343,2 mm. De setembro a dezembro se tem um período de baixa precipitação, com valores não maiores que 34 mm. A média anual foi de 92,48 mm, estando acima desse valor os meses de abril a agosto.

De janeiro a março de 2010 ocorrem baixos índices de precipitação, não passando de 32 mm. De abril a agosto foram identificados maiores valores, no qual o mês de junho registrou 243,9 mm. De outubro a dezembro os índices foram muito baixos, não ultrapassando os 17 mm. A precipitação média anual foi de 77,2 mm, com os meses de abril, junho, julho e agosto acima desse valor.

**Figura 5: Precipitação no Baixo RSF para os anos de 2008, 2009 e 2010.**



Fonte: pesquisa.

De acordo com dados da ANA (2019), as precipitações na estação pluviométrica em Piranhas, no setor do baixo Rio São Francisco, mostram que nos anos hidrológicos analisados houve um comportamento diferente ao ocorrido no Sub-médio. As médias anuais analisadas demonstraram que as precipitações médias do baixo SF foram significativamente maiores em comparação com o sub-médio SF. O ano de 2008 registrou valores médios de 52,85 mm no SMSF e 67,6 mm no BSF. Para 2009 ocorreram 43,23 mm no SMSF e 92,48 mm no BSF. No ano de 2010 a precipitação foi de 33,23 mm no SMSF e 77,2 mm no BSF.

O ano que apresentou maior média de pluviosidade foi 2009, com 92,48 mm. A menor média ocorreu em 2008, 67,6 mm. Os meses mais chuvosos foram de abril a agosto, entre setembro e março ocorreram valores menores.

Em comparação com o estudo de Silva (2018), os anos analisados apresentaram maior índice de pluviosidade que o ano de 2001, o qual conforme Medeiros *et al.* (2011) foi um ano com precipitações abaixo das normais climatológicas, o que levou os reservatórios das hidrelétricas a ficar com níveis críticos, levando a uma crise de energia elétrica.

#### **4.2 . Vazões no rio São Francisco**

Nos últimos 30 anos o Rio São Francisco e seu estuário passaram a ter grande redução na descarga de água doce e no aporte de material em suspensão. Este sofreu vários impactos ligados ao sistema de barragens em cascata ao longo de seu curso, esses impactos são perceptíveis em outros rios onde há barragens. Medeiros *et al.* (2007) afirma que estes impactos tiveram seu ápice em 1994, com a instalação da Usina Hidrelétrica de Xingó, que devido a operação em conjunto com as demais UHE's gerou um cerceamento significativo da variação sazonal das descargas de água.

Com o início das construções das barragens no curso principal do rio São Francisco passou a haver interferência na vazão natural do rio ( $m^3/s$ ). Entre os anos de 1938 e 1973 as vazões variaram entre  $3008 m^3/s \pm 850 m^3/s$  (Tabela 3).

Entre 1938-1973 ocorreu a construção da UHE de Três Marias em 1963 no Alto SF, não afetou de forma expressiva à variabilidade temporal e a magnitude da vazão do Médio-Baixo SF.

Em 1973, a CHESF iniciou a construção do reservatório de Sobradinho, no Sub-médio SF, o lago foi formado em 1979, com superfície de  $4.214 km^2$ , um dos maiores lagos artificiais do mundo, servindo como reservatório de regularização plurianual (CORREIA & DIAS, 2003).

O período de 1977-1985 incorporou a conclusão das barragens de Apolônio Sales e Sobradinho, a última a montante da cascata. A vazão média do período foi 3136 m<sup>3</sup>/s, a mínima identificada foi 1916 m<sup>3</sup>/s, o máximo encontrado foi 4019 m<sup>3</sup>/s, sendo o desvio padrão 824 m<sup>3</sup>/s. A vazão máxima foi menor que o período anterior, mas a média se manteve um pouco mais elevada.

De 1986-1994 foram incorporadas as barragens de Itaparica e Xingó, a última entrou em operação no final de 1994. Esse período apresenta valores menores que o anterior, a vazão média foi 2204 m<sup>3</sup>/s, a mínima identificada foi 1498 m<sup>3</sup>/s, o máximo encontrado foi 3779 m<sup>3</sup>/s, sendo o desvio padrão 749 m<sup>3</sup>/s.

No período de 1995-2001 as barragens já estavam com vazão regularizada. Conforme Knoppers, *et al.* (2005) estas reduções nas vazões tiveram seu ápice com a instalação da UHE Xingó, em 1994, que em operação conjunta com as demais UHE's promoveu uma redução significativa da variação sazonal das descargas de água. Todos os valores identificados neste período foram menores que em todos os anos anteriores (Tabela 3).

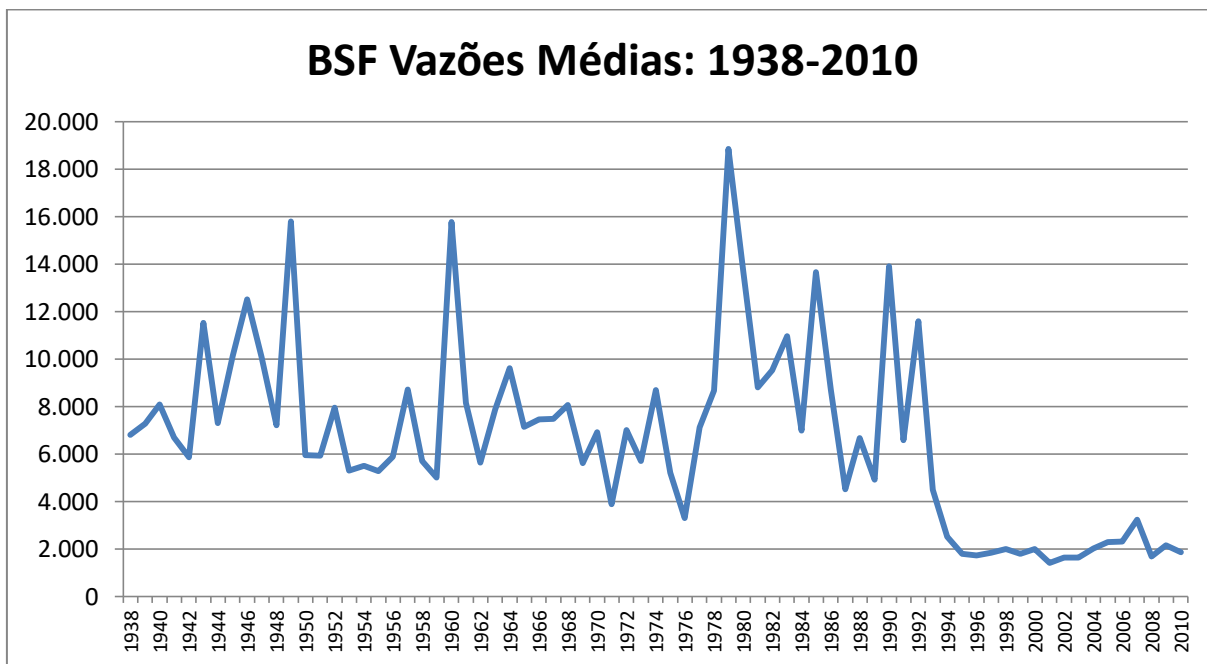
**Tabela 3: média anual, desvio padrão, mínimos e máximos da vazão da estação fluviométrica de Traipú nos quatro estágios hidrológicos.**

Estágio	Média (m <sup>3</sup> /s)	Desvio padrão (m <sup>3</sup> /s)	Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Máximo (m <sup>3</sup> /s)
1938-1973	3008	852	1768	5244
1977-1985	3136	824	1916	4019
1986-1994	2204	749	1498	3779
1995-2001	1758	235	1405	1980

Fonte: Medeiros *et al.* (2007).

Em anos posteriores a instalação das barragens, ocorreu redução das vazões anuais, entre os anos 1995 e 2001 as vazões médias reduziram-se de 3008 m<sup>3</sup>/s para 1760 m<sup>3</sup>/s (Tab. 3).

Na Figura 6 é possível observar a variabilidade anual das vazões ocorridas no curso principal do rio São Francisco nos períodos entre 1938-2010, na estação fluviométrica de Traipú (AL), localizada em torno de 40 km acima de Propriá (SE) (MEDEIROS *et al.*, 2007).

**Figura 6: Vazões médias no Baixo São Francisco entre os anos de 1938-2010.**

Fonte: atual pesquisa.

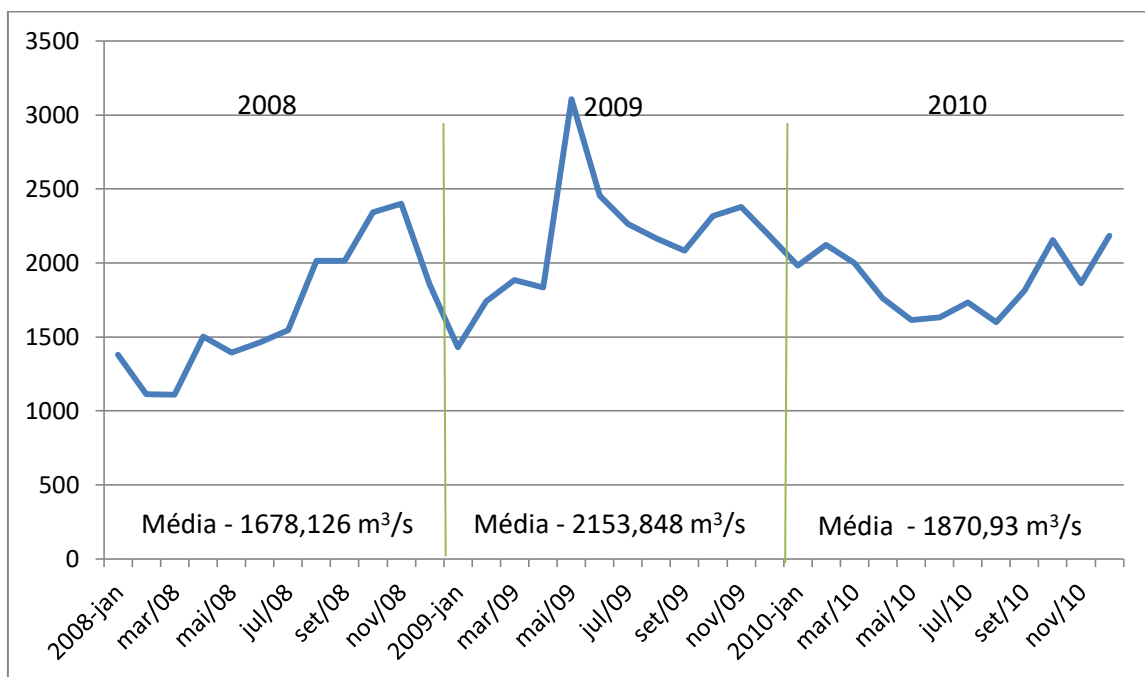
Evidencia-se o decréscimo da variabilidade interanual e da magnitude da vazão média anual ao longo do tempo.

#### 4.2.1. Vazões no período de estudo

O gráfico abaixo (Figura 7) mostra que o período de menor vazão no ano de 2008 foi de janeiro a março, com o valor mínimo de 1110,483 m<sup>3</sup>/s. Entre os meses de julho e dezembro houve maiores valores de vazão, atingindo 2401,492m<sup>3</sup>/s no mês de novembro. A vazão média anual foi de 1678, 126 m<sup>3</sup>/s.

O ano de 2009 registrou vazão média maior que o ano anterior, sendo de 2153,848 m<sup>3</sup>/s. O mês com menor vazão foi janeiro, com 1430,047 m<sup>3</sup>/s, o com maior valor foi maio, com 3108,146 m<sup>3</sup>/s. A partir de junho a vazão diminui, estando em 2455,56 m<sup>3</sup>/s e em dezembro apresenta 2182,073 m<sup>3</sup>/s.

O ano de 2010 apresentou vazão média de 1870,93 m<sup>3</sup>/s, estando abaixo de 2009 e acima de 2008. Entre janeiro e março os valores foram mais altos que entre abril e setembro, onde no primeiro período o maior valor foi 2121,458 m<sup>3</sup>/s e no seguinte foi setembro com 1810,668 m<sup>3</sup>/s. Entre outubro e dezembro ocorre um aumento da vazão, sendo dezembro o maior valor do período, 2183,924 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 7: Vazão no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.**

Fonte: atual pesquisa.

A Figura 7 mostra que após Xingó entrar em operação os eventos de cheias no baixo RSF são potencialmente reduzidos e regularizados (KNOPPERS, *et al.* 2005). Em 2008 a vazão média foi de 1678,126 m<sup>3</sup>/s. Comparando as vazões médias dos quatro estágios hidrológicos definidos por Medeiros *et al.* (2007), com os valores encontrados nesta pesquisa para os anos de 2008, 2009 e 2010, é possível notar a redução de eventos extremos de mínimos e máximos de vazão.

#### **4.3 . Concentração de nutrientes e clorofila *a* em relação à precipitação durante os anos estudados**

A variação temporal da concentração de nitrogênio Amônio no baixo RSF não apresentou relação com os valores de precipitação, onde nos meses de alta precipitação (março-agosto) não foram identificados altos valores de amônio (Figura 8). Nos meses de baixa precipitação os valores encontrados foram semelhantes aos mais chuvosos. Verificou-se um padrão semelhante nos três anos da pesquisa. Os resultados evidenciaram que as médias não mostraram associação entre precipitação amônio.

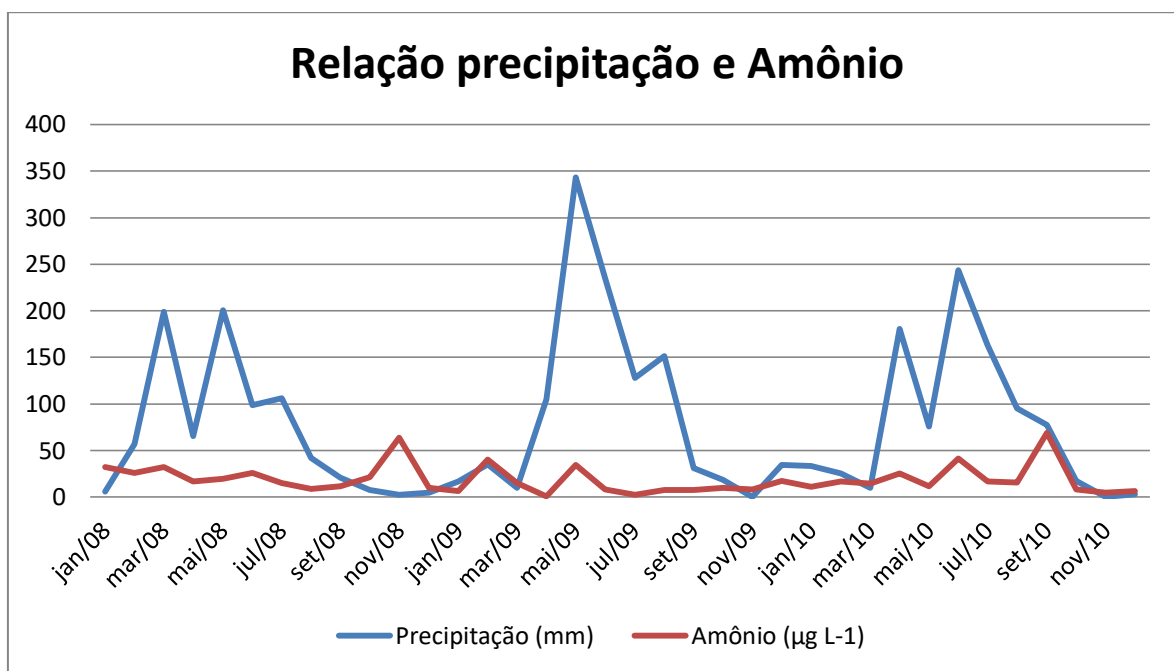
Silva (2018) analisando os resultados obtidos para nitrogênio amoniacal observou relação entre anos com maiores vazões no baixo RSF e maior concentração média temporal

de amônio. Identificou ainda que o aumento excessivo das chuvas e conseqüentemente das vazões acarretaram um aumento excessivo nas concentrações de amônia.

Fuller (2008) observou na sub-bacia do Ribeirão do Ouro, em Araraquara-SP, uma tendência para maiores concentrações de Nitrogênio Amoniaco ( $\text{NH}_4$ ) no período chuvoso, devido o carreamento das águas superficiais na área de drenagem.

Dellagiustina (2000) identificou situação diferente no rio Itajaí-açu (SC), onde nos períodos de baixa vazão, houve um aumento nas concentrações de amônio, devido a alta densidade demográfica e conseqüente descarte de esgotos domésticos e das atividades industriais naquele trecho do rio.

**Figura 8: Relação entre precipitação e Amônio no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.**

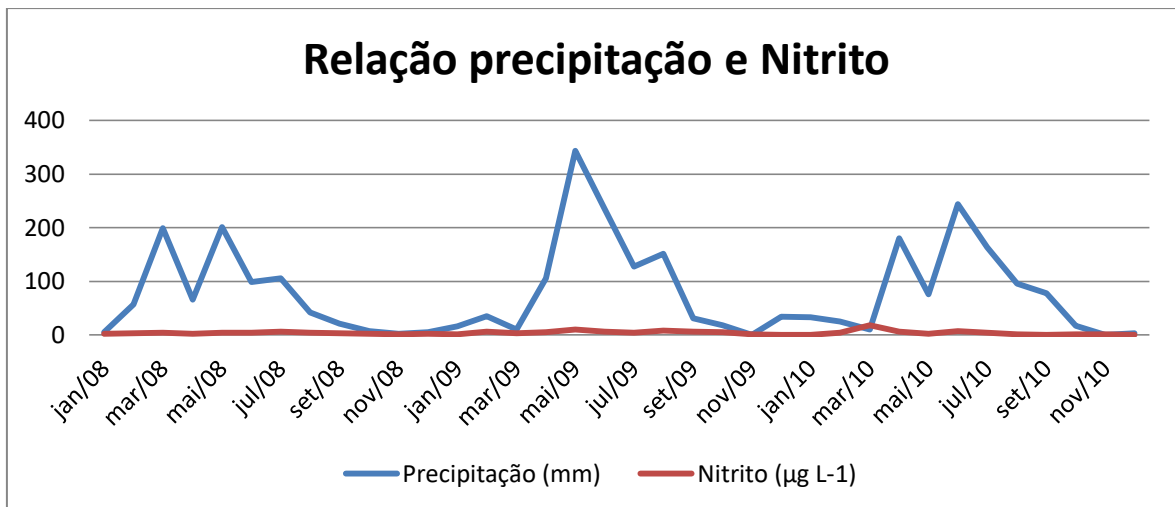


Fonte: atual pesquisa.

A variação temporal da concentração de nitrogênio Nitrito no baixo RSF apresentou maior estabilidade e menor relação com os valores de precipitação, nos meses mais chuvosos ocorreram valores de amônio semelhantes aos de baixa precipitação (Figura 9). Este comportamento ocorreu nos três anos analisados.

Silva (2018) identificou relação entre a elevada concentração de nitrito no ano de 2004 com maior concentração de amônia, o que não é identificado na presente pesquisa.

**Figura 9: Relação entre precipitação e Nitrito no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.**

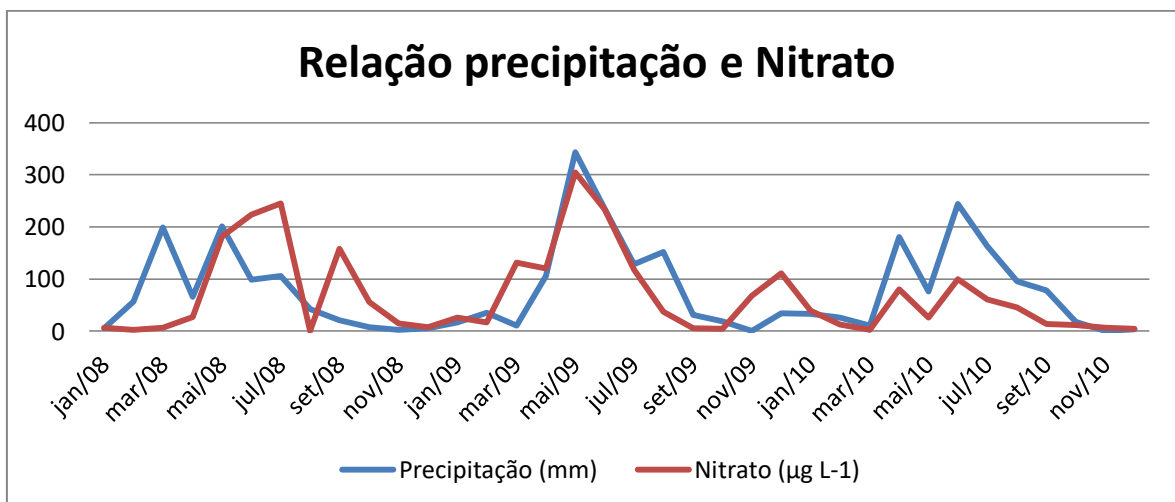


Fonte: atual pesquisa.

A variação temporal da concentração de nitrogênio Nitrato no baixo RSF apresentou relação com os valores de precipitação, nos meses mais chuvosos ocorreram maiores valores de amônio (Figura 9). Nos meses de baixa precipitação foram encontrados valores menores. Este comportamento ocorreu nos três anos da pesquisa.

Silva (2018) observou que as concentrações máximas de nitrato foram observadas nos anos de baixa vazão. Silva e Fonseca (2016) observaram em rios tropicais que as médias da concentração de nitrato em períodos chuvosos foram menores que as de períodos secos na maioria dos pontos coletados.

**Figura 10: Relação entre precipitação e Nitrato no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.**



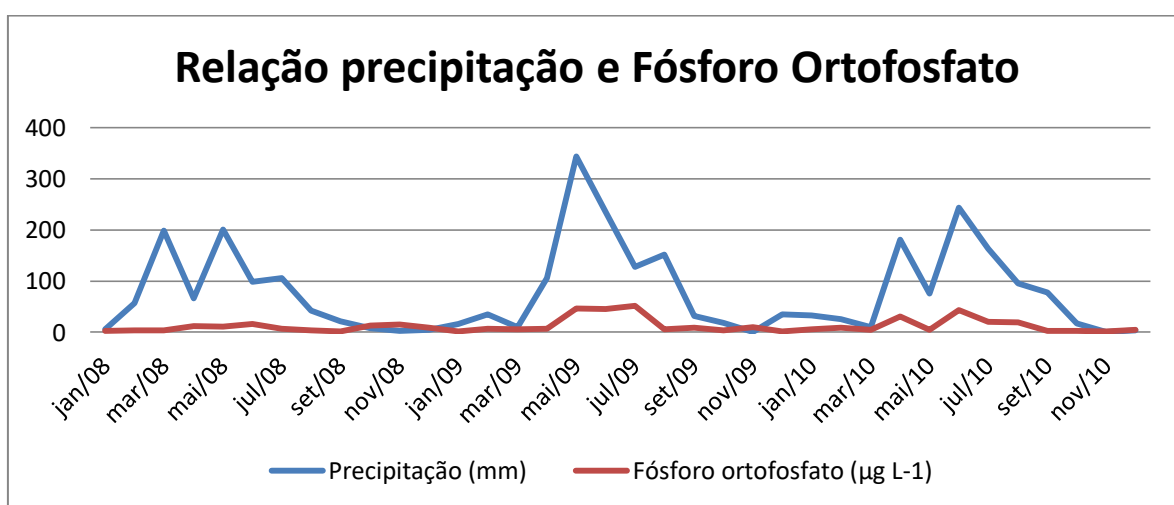
Fonte: atual pesquisa.



A variação temporal da concentração de Fósforo Ortofosfato no baixo RSF apresentou maiores valores nos períodos de maior precipitação, nos meses menos chuvosos ocorreram valores de amônio um pouco mais baixos (Figura 11). Este comportamento foi observado nos três anos analisados.

Silva (2018) observou maiores concentrações de fósforo ortofosfato nos anos de 2004 e 2005, marcados por grandes índices pluviométricos e vazão no baixo RSF.

**Figura 11: Relação entre precipitação e Fósforo Ortofosfato no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.**

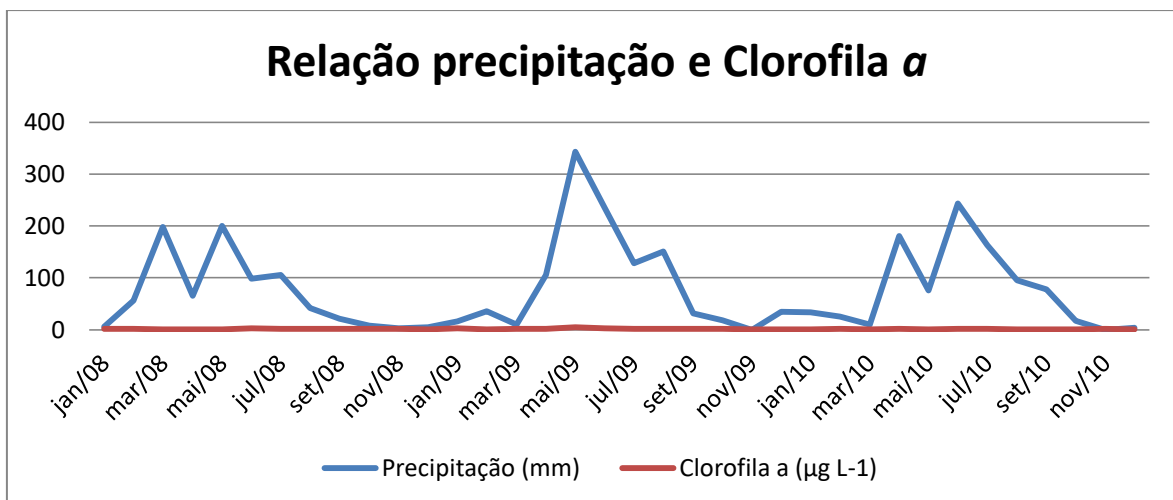


Fonte: atual pesquisa.

A variação temporal da concentração de clorofila *a* no baixo RSF apresentou maior estabilidade e nenhuma relação com os valores de precipitação. Nos meses mais chuvosos ocorreram valores de clorofila *a* semelhantes aos de baixa precipitação (Figura 12). Este comportamento ocorreu nos três anos analisados.

Em relação à variação temporal da concentração de clorofila *a* no baixo RSF, Silva (2018) verificou um padrão semelhante em cinco anos da pesquisa. Onde não houve associação entre as médias em relação à precipitação e vazões.

**Figura 12: Relação entre precipitação e Clorofila *a* no Baixo Rio São Francisco para os anos 2008, 2009 e 2010.**



Fonte: atual pesquisa.

#### 4.4 . Concentrações de nutrientes e clorofila em comparação com os valores fixados pelo CONAMA

##### 2008

Os valores das concentrações de clorofila *a* encontrados no período de estudo estão representados nas Tabelas 4, 5 e 6. O CONAMA, por meio da resolução 357 de 2005 dispõe para rios de classe 2 (abastecimento para consumo humano após tratamento convencional) a concentração máxima de clorofila *a* de 10 µg L<sup>-1</sup>. No presente trabalho, em nenhum mês analisado foi observado valores maiores ou próximos a 5 µg L<sup>-1</sup>.

Durante o período de amostragem do ano 2008 (Tabela 4), os locais que apresentaram maiores concentrações de clorofila *a* baseado nos valores médios foram fevereiro (1,6 µg L<sup>-1</sup>), junho (2,4 µg L<sup>-1</sup>), setembro (1,6 µg L<sup>-1</sup>) e outubro (1,6 µg L<sup>-1</sup>). Conforme Souza *et al.* (2009) as maiores concentrações de clorofila *a* tendem a ser encontradas em ambientes onde há grande disponibilidade de nutrientes inorgânicos dissolvidos, para produção primária oriunda principalmente de efluentes industriais.

A resolução 357/05 do CONAMA estabelece como valores padrões para Nitrogênio Amônio, levando em conta o pH, onde para pH menor ou igual a 7,5 mg/L<sup>-1</sup> o valor máximo é de 3,7 mg/L<sup>-1</sup> N. Onde o pH é maior que 7,5 mg/L<sup>-1</sup> e menor ou igual a 8,0 mg/L<sup>-1</sup> deve haver um valor máximo de 2,0 mg/L<sup>-1</sup> N; para pH maior que 8,0 mg/L<sup>-1</sup> e menor ou igual a 8,5 mg/L<sup>-1</sup>, o valor máximo deve ser de 1,0 mg/L<sup>-1</sup> N, para pH maior que 8,5 mg/L<sup>-1</sup>, o valor

máximo estabelecido é de  $0,5 \text{ mg/L}^{-1} \text{ N}$ . Todos os meses estão dentro dos padrões, as maiores concentrações ocorreram em fevereiro, março e novembro, meses com vazões mais elevadas.

O Nitrogênio Nitrito ocorre nas águas naturais, proveniente da redução do nitrato ou da oxidação do amônio, representando o estado intermediário de oxidação entre o amônio e o nitrato no ciclo do nitrogênio, uma fase menos estável (DELLAGIUSTINA, 2000). Para este parâmetro o CONAMA (Tabela 3) recomenda valores não acima de  $1,0 \text{ mg/L}^{-1} \text{ N}$ . A figura 10 mostra as concentrações de nitrito para o ano de 2008. Todos os meses analisados se apresentaram abaixo do valor estabelecido. Em março, julho e agosto ocorreram maiores valores, onde apenas março apresentou vazão mais elevada ( $4594 \text{ m}^3/\text{s}$ ), em julho e agosto as vazões não passaram de  $950 \text{ m}^3/\text{s}$ .

O nitrato representa a forma mais estável de nitrogênio no ambiente e o último estágio da oxidação, os valores podem aumentar significativamente quando fontes de nitrato oriundas de fertilizantes agrícolas ou esgotos são carregados para rios e lagos (SHELTON, 1999), isso nos leva a concluir que a concentração de nitrato em rios pode estar relacionada com a ocupação nas margens. Para este parâmetro, o CONAMA recomenda não ultrapassar o valor de  $10,0 \text{ mg/L}^{-1} \text{ N}$ . A Tabela 4 mostra os valores obtidos da concentração de nitrato no Rio São Francisco para o ano de 2008. Todos os meses se apresentam nos padrões estabelecidos. Os maiores valores foram observados em maio, junho, julho e setembro, meses que não apresentaram as maiores vazões anuais.

A resolução do CONAMA, nº 357/05, no artigo 14 estabelece o valor máximo de  $0,025 \text{ mg/L}^{-1}$  Fósforo. A Tabela 4 mostra o comportamento da concentração de fósforo ortofosfato no Rio São Francisco para o ano de 2008, onde se percebe que o maior valor obtido foi no mês de junho ( $0,01588 \text{ mg/L}^{-1}$ ). Abril, maio, outubro e novembro apresentaram valores acima da média ( $0,00796 \text{ mg/L}^{-1}$ ), embora apenas abril teve vazão acima da média.

**Tabela 4: Concentrações médias mensais e anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2008.**

2008	Nitrito	Nitrato	Amônia	Fósforo	Clorofila
Mês	(mg/L <sup>-1</sup> )	(mg/L <sup>-1</sup> )	(mg/L <sup>-1</sup> )	dissolvido(mg/L <sup>-1</sup> )	a (µg.L <sup>-1</sup> )
<b>Janeiro</b>	0,00257	0,00651	0,03218	0,00265	1,44
<b>Fevereiro</b>	0,00373	0,00373	0,02574	0,00331	1,6
<b>Março</b>	0,00415	0,00646	0,03249	0,00331	1,2
<b>Abril</b>	0,00224	0,02733	0,01688	0,01191	1,1
<b>Mai</b>	0,00428	0,18119	0,01983	0,01059	1,1
<b>Junho</b>	0,00484	0,22392	0,02574	0,01588	2,4
<b>Julho</b>	0,00596	0,24538	0,01519	0,00662	1,5
<b>Agosto</b>	0,00410	0,00024	0,00886	0,00331	1,5
<b>Setembro</b>	0,00373	0,15761	0,01175	0,00132	1,6
<b>Outubro</b>	0,00205	0,05579	0,02139	0,01294	1,3
<b>Novembro</b>	0,00130	0,01504	0,06371	0,01522	1,6
<b>Dezembro</b>	0,00205	0,00755	0,01002	0,00846	1,2
<b>Média Anual</b>	0,00341	0,07748	0,02364	0,00796	1,46

Fonte: atual pesquisa.

## 2009

Durante o período de amostragem do ano 2009, as maiores concentrações de clorofila *a* ocorreram nos meses de janeiro (2,6 µg/L<sup>-1</sup>), abril (2,1 µg/L<sup>-1</sup>), maio (4,8 µg/L<sup>-1</sup>), junho (2,6 µg/L<sup>-1</sup>) e agosto (2,2 µg/L<sup>-1</sup>), estando todos abaixo dos valores indicados pelo CONAMA, até 10 µg/L<sup>-1</sup>.

Cotovicz Jr. (2012) encontrou na Laguna Mundaú valores entre 4,9 µg/L e 134,1 µg/L, obtendo 96,91 µg/L como coeficiente de variação. Esteves (1998) afirma que a variação temporal do fitoplâncton é controlada por vários fatores, dos quais se destacam a disponibilidade de nutrientes e radiação subaquática. É comum em estuários e águas litorais os nutrientes serem provenientes de drenagem terrestre e atividades antrópicas que contribuem para o desencadeamento de um processo de eutrofização cultural, onde aumentam as partículas dissolvidas na água, destas o nitrogênio e fósforo estimulam a produção da biomassa fitoplanctônica, onde há intensidade luminosa suficiente.

Para Smayda (1983), a caracterização da variabilidade de clorofila a longo prazo, como vem ocorrendo em estudos no Rio São Francisco, é essencial para detectar efeitos

antrópicos sobre a dinâmica do fitoplâncton. Entender a relação entre nutrientes e clorofila *a* é importante para prevenir um possível processo de eutrofização.

O nitrogênio amoniacal é um indicativo da entrada de esgoto fresco não tratado na área. Todos os meses estão dentro dos padrões, as maiores concentrações ocorreram em fevereiro, março maio e dezembro, onde fevereiro e março apresentaram vazões mais elevadas.

O estudo de Fuller (2008) na sub-bacia do Ribeirão do Ouro, em Araraquara-SP, observou haver uma tendência para maiores concentrações de Nitrogênio Amoniacal no período chuvoso, provavelmente por consequência do carreamento das águas superficiais.

Para Nitrogênio Nitrito (Tabela 5) as concentrações se apresentaram abaixo do valor estabelecido (1,0 mg/L N). Em maio e agosto ocorreram maiores valores, onde apenas maio apresentou vazão mais elevada (2634 m<sup>3</sup>/s), em agosto a vazão não passou de 990 m<sup>3</sup>/s.

O nitrato se apresentou dentro dos valores estabelecidos em todos os meses (Tabela 4). Os maiores valores foram observados em maio (0,30492) e junho (0,23422). Não foi identificada relação entre vazão e concentração. As maiores vazões ocorreram em janeiro (5393 m<sup>3</sup>/s) e fevereiro (5051 m<sup>3</sup>/s), meses de valores muito baixos quando comparados com maio (2634 m<sup>3</sup>/s) e junho (1540 m<sup>3</sup>/s), meses com vazões bem menores. As concentrações de março (0,13160 mg/L) e abril (0,12026 mg/L) estiveram acima da média anual (0,09813 mg/L), nestes meses houveram vazões elevadas quando comparadas com os demais.

Silva (2011) observou um efeito sazonal na concentração de Nitrato na bacia do Riacho do Silva, onde as medianas do período chuvoso foram menores que as do período seco na maioria dos pontos coletados.

A Tabela 5 mostra o comportamento da concentração de fósforo ortofosfato no Rio São Francisco para o ano de 2009, onde se percebe que os maiores valores obtidos ocorreram nos meses de maio (0,04646 mg/L), junho (0,04491 mg/L) e julho (0,05172 mg/L). Todos acima da média anual (0,01611) mg/L. Nenhum desses meses apresentaram concentração acima do valor estabelecido pelo CONAMA.

**Tabela 5: Concentrações médias mensais e anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2009.**

2009	Nitrito	Nitrato(mg/L <sup>-1</sup> )	Amônia	Fósforo	Clorofila
Mês	(mg/L <sup>-1</sup> )		(mg/L <sup>-1</sup> )	dissolvido	a (µg.L <sup>-1</sup> )
				(mg/L <sup>-1</sup> )	
<b>Janeiro</b>	0,00107	0,02612	0,00655	0,00114	2,6
<b>Fevereiro</b>	0,00595	0,01628	0,04046	0,00666	1,1
<b>Março</b>	0,00378	0,13160	0,01512	0,00526	1,5
<b>Abril</b>	0,00518	0,12026	0,00084	0,00650	2,1
<b>Mai</b>	0,01078	0,30492	0,03450	0,04646	4,8
<b>Junho</b>	0,00630	0,23422	0,00840	0,04491	2,6
<b>Julho</b>	0,00448	0,11844	0,00252	0,05172	1,7
<b>Agosto</b>	0,00826	0,03738	0,00756	0,00526	2,2
<b>Setembro</b>	0,00602	0,00546	0,00756	0,00929	1,4
<b>Outubro</b>	0,00581	0,00455	0,01008	0,00403	1,9
<b>Novembro</b>	0,00133	0,06790	0,00840	0,01007	1,2
<b>Dezembro</b>	0,00091	0,11053	0,01729	0,00201	1,1
<b>Média Anual</b>	0,00498	0,09813	0,01328	0,01611	2,02

Fonte: atual pesquisa.

## 2010

Durante o período de amostragem do ano 2010, as maiores concentrações de clorofila *a* ocorreram nos meses de abril (1,87 µg/L<sup>-1</sup>), julho (1,9 µg/L<sup>-1</sup>) e novembro (1,8 µg/L<sup>-1</sup>), semelhante aos anos anteriores, todos os meses estiveram abaixo dos valores indicados pelo CONAMA (Tabela 5). Botelho e Tornisielo (2014) ao analisar clorofila *a* no rio Piracicaba, Estado de São Paulo, identificaram não haver relação entre pluviosidade e concentração de clorofila *a*, onde os meses de maiores precipitações apresentaram menores concentrações de clorofila e em outros meses com altas precipitações ocorreram valores elevados de clorofila.

Alguns estudos analisados não identificaram padrões de comportamento de clorofila *a* e precipitação, onde Bastos *et al.* (2005) encontrou maiores concentrações de clorofila *a* em período chuvoso, Souza *et al.* (2009) encontrou valores mais altos em períodos secos.

Para nitrogênio amoniacal todos os meses estão dentro dos padrões, as maiores concentrações ocorreram em abril (0,02571 mg/L), junho (0,04161 mg/L) e setembro

(0,06920 mg/L). As vazões mais elevadas ocorreram em janeiro, março, abril e dezembro.

Silva (2018), ao analisar os resultados obtidos para nitrogênio amoniacal no baixo rio São Francisco, observou similaridade nas concentrações dissolvidas, podendo haver relação entre os de 2001 e 2008, de baixa vazão, apresentando uma variação média de  $\text{NH}_4$  méd.= 0,03316 mg/L em 2001 e 0,02429 mg/L no ano de 2008. Neste período foi registrada umas das menores vazões do rio, sendo o volume de água insuficiente para diluir os nutrientes. Nos anos de maiores precipitações e vazões no baixo rio São Francisco (2004, 2005 e 2007), Silva (2018) registrou a maior concentração média temporal de amônio ( $\text{NH}_4$  méd.= 0,04966 mg/L).

Para Nitrogênio Nitrito (Tabela 6) as concentrações se apresentaram abaixo do valor fixado pelo CONAMA (1,0 mg/L N). As concentrações acima da média ocorreram nos meses de fevereiro (0,00422 mg/L), março (0,01823 mg/L), abril (0,00675 mg/L), junho (0,00745 mg/L) e julho (0,00472 mg/L), onde apenas março e abril apresentaram vazões mais elevadas (2607 m<sup>3</sup>/s e 2846 m<sup>3</sup>/s respectivamente).

Silva (2008) identificou que a concentração de nitrito no BSF entre os anos de 2001 e 2008 variaram entre 0,00116 a 0,18649 mg/L. Conforme Pelaéz (2001) as altas concentrações de nitrito estão associadas à poluição nas águas continentais, podendo ter origem em efluentes industriais, poluição doméstica ou descarga de represas, onde o último exemplo ocorre no baixo RSF.

O nitrato se apresentou dentro dos valores estabelecidos em todos os meses de 2010 (Tabela 5). Os maiores valores foram observados em janeiro (0,03908 mg/L), abril (0,08034 mg/L), junho (0,09924 mg/L) julho (0,06065 mg/L) e agosto (0,04488 mg/L). As maiores vazões ocorreram em janeiro (3538 m<sup>3</sup>/s) março (2607 m<sup>3</sup>/s) abril (2846 m<sup>3</sup>/s) e dezembro (3118 m<sup>3</sup>/s), assim, janeiro e abril apresentaram relação entre vazão e concentração. Os meses de junho, julho e agosto apresentaram maiores concentrações e menores vazões.

Silva (2018) identificou maiores concentrações de nitrato nos anos de 2001 e 2008, que foram de baixa vazão ( $\text{NO}_3$  méd.= 0,06437 mg/L). Isso demonstra haver “uma influência na atividade bacteriana, tanto para a formação associada com a amônia como para elevadas concentrações de nitrato, diagnosticada para esse período”. O nitrato é a forma predominante de nitrogênio no Baixo rio São Francisco e no Rio Amazonas (BESSA, 1990; RICHEY *et al.* 1986).

A Tabela 6 mostra o comportamento da concentração de fósforo ortofosfato no Rio São Francisco para o ano de 2010. Os maiores valores obtidos ocorreram nos meses de abril (0,03042 mg/L), junho (0,04275 mg/L), julho (0,02030 mg/L) e agosto (0,01941 mg/L).

Todos acima da média anual (0,012243 mg/L). Dos meses citados apenas abril apresentou vazão acima da média. Nos meses de junho, julho e agosto ocorreram algumas das menores vazões do ano.

Silva (2018) observou que a concentração média de fósforo inorgânico dissolvido nos anos de baixa vazão teve valores similares (0,00590 mg/L). Com o aumento das vazões (novembro-dezembro), ocorreram as maiores concentrações de fósforo (0,0110 a 0,0166 mg/L) para os anos de 2001 e 2008 respectivamente.

Nos anos de 2004 e 2005, Silva (2018) identificou maiores índices de fósforo ortofosfato em anos de elevados índices pluviométricos e de vazão no baixo RSF, sendo uma média 0,40127 mg/L para 2004. Conforme Medeiros *et al.* (2011), as análises podem ser justificadas pela modificação dos processos biogeoquímicos que ocorrem nos sistemas de barragens, como aumento no tempo de residência e da decomposição de matéria orgânica e da remineralização.

**Tabela 6: Concentrações médias mensais e anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2010.**

2010	Nitrito (mg/L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg/L <sup>-1</sup> )	Amônia (mg/L <sup>-1</sup> )	Fósforo dissolvido (mg/L <sup>-1</sup> )	Clorofila a (µg.L <sup>-1</sup> )
Mês					
<b>Janeiro</b>	0,00087	0,03908	0,01097	0,00518	0,8
<b>Fevereiro</b>	0,00422	0,01203	0,01685	0,00838	1,3
<b>Março</b>	0,01823	0,00186	0,01463	0,00446	1,1
<b>Abril</b>	0,00675	0,08034	0,02571	0,03042	1,87
<b>Mai</b>	0,00203	0,02570	0,01179	0,00458	1,2
<b>Junho</b>	0,00745	0,09924	0,04161	0,04275	1,4
<b>Julho</b>	0,00472	0,06065	0,01659	0,02030	1,9
<b>Agosto</b>	0,00112	0,04488	0,01575	0,01941	1,2
<b>Setembro</b>	0,00087	0,01331	0,06929	0,00218	1,0
<b>Outubro</b>	0,00137	0,01178	0,00844	0,00265	0,9
<b>Novembro</b>	0,00161	0,00617	0,00478	0,00176	1,8
<b>Dezembro</b>	0,00050	0,00417	0,00647	0,00485	0,9
<b>Média Anual</b>	0,004145	0,0332675	0,0202325	0,012243	1,28083

Fonte: atual pesquisa.



Para nitrogênio amoniacal (Tabela 7) a maior média anual foi encontrada em 2008 (0,02364 mg/L<sup>-1</sup>), ano de menor vazão no período estudado (1678,126 m<sup>3</sup>/s).

O ano de 2009 apresentou as maiores concentrações médias de nitrito (0,00498 mg/L<sup>-1</sup>), nitrato (0,09813 mg/L<sup>-1</sup>), fósforo dissolvido (0,01611 mg/L<sup>-1</sup>) e clorofila *a* (2,02 µg.L<sup>-1</sup>). Este foi o ano com maior vazão média (2153,848 m<sup>3</sup>/s) no período de estudo. Todos os parâmetros se apresentaram dentro dos valores fixados pelo CONAMA em todos os anos estudados.

**Tabela 7: médias anuais de nutrientes e clorofila para o ano de 2008, 2009 e 2010.**

<b>Médias anuais</b>	<b>Nitrito (mg/L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nitrato (mg/L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Amônia (mg/L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Fósforo dissolvido (mg/L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Clorofila <i>a</i> (µg.L<sup>-1</sup>)</b>
<b>2008</b>	0,00341	0,07748	<b>0,02364</b>	0,00796	1,46
<b>2009</b>	<b>0,00498</b>	<b>0,09813</b>	0,01328	<b>0,01611</b>	<b>2,02</b>
<b>2010</b>	0,00414	0,03326	0,02023	0,01224	1,28

Fonte: atual pesquisa.

#### **4.5 . Comparação com outros rios do Mundo**

A Tabela 8 apresenta uma comparação entre o Rio São Francisco e outros rios do mundo. Ao se comparar os teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos encontrados no rio São Francisco, durante todo o período de estudo, com os rios naturais, poluídos e com a média mundial (Tabela 8), semelhante a Medeiros (2003), pode se constatar que:

- Este apresenta baixos teores de nitrato
- Apresenta teores de amônia levemente superiores a rios não poluídos, ficando, no entanto abaixo da média mundial.
- Apresenta valores levemente superiores para ortofosfato, em relação a rios não poluídos, ficando abaixo da média mundial de rios poluídos.
- Os níveis de Fósforo Total identificados pela presente pesquisa são semelhantes com os identificados por Medeiros (2003).

**Tabela 8 – Valores de N, P e Si (mg/l) para diversos rios, modificado de Meybeck ( 1982).**

	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P-PO <sub>4</sub>	Si-SiO <sub>2</sub>	P-total	Referência
<b>Não Poluídos</b>						
Apure	0,14	0,04	0,04			Meybeck, 1982
La Grande	0,10	-	0,17	2,6		“
Amazonas	0,17	<0,02	0,02	6,9		“
Makenzie	0,10	-	-	3,7		“
Lena	0,09	0,11	0,01	4,2	1,24	Martin & Meybeck 1979
<b>Média Mundial</b>				1,15		Froelich 1984
<b>Média Mundial</b>	0,10	0,02	0,01			Meybeck & Helmer, 1989
<b>Poluídos</b>						
Seine	4,30	1,00	0,40	6,33		Meybeck, 1982
ChiangJiang	0,25	0,06	0,02	6,5		
Volga	0,52	0,14	0,02			
Rhine	4,00	-	0,35	5,2		
Mississipi	1,1	-	0,30	6,7		
Luanhe	1,04	-	0,02	4,7		
Shuangtaizihe	2,54	-	0,01			
Yalujiang	4,34	0,11	0,001			
<b>Média Mundial</b>	0,70	0,11	0,03			
São Francisco	0,059	0,027	0,017	9,76	0,03-0,07	Medeiros (2003)
São Francisco <sup>(1)</sup>	0,077	0,023	0,007	.....	0,03	Presente estudo
São Francisco <sup>(2)</sup>	0,098	0,013	0,016	.....	0,06	Presente estudo
São Francisco <sup>(3)</sup>	0,033	0,020	0,012	.....	0,04	Presente estudo

Fonte: Medeiros (2003). <sup>(1)</sup> 2008; <sup>(2)</sup> 2009; <sup>(3)</sup> 2010.

## 4.6 . Cargas

### 4.6.1 . Nitrogênio

Segundo Medeiros *et al.* (2011), a construção de barragens provocou alterações nos padrões naturais de vazão, o que reduziu sua magnitude e variabilidade sazonal e interanual. As cargas de material particulado em suspensão e nutrientes sofreram grande redução. A carga de nitrogênio inorgânico dissolvido de  $4,1 \times 10^3$  toneladas/ano é 17 vezes menor do que no período anterior à construção da cascata de barragens.

#### 4.6.1.1 . Resultados para nitrogênio amônio (NNH<sub>4</sub>)

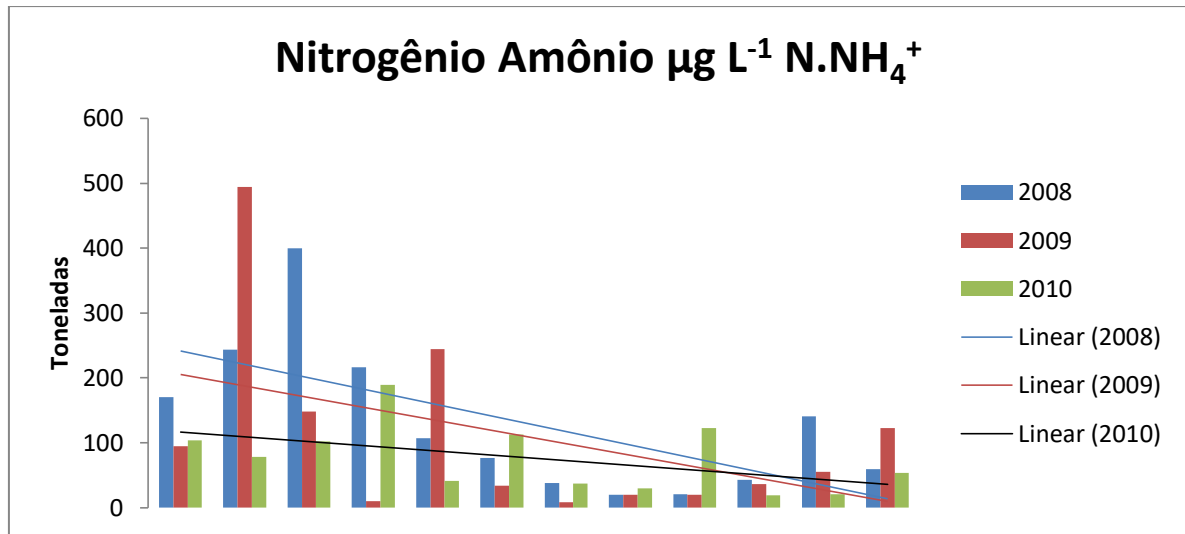
A Figura 13 mostra a variação do fluxo mensal de nitrogênio amônio para o ano hidrológico de 2008, no qual os meses de janeiro (170,0044 ton.), fevereiro (243,2607ton.), março (399,7475 ton.), abril (216,6575 ton.) e novembro (140,9249 ton.) foram os mais elevados, estiveram acima da média anual (127,9410 ton/mês). Observando o gráfico (Figura 13) e comparando com os valores de vazão anteriormente apresentados, percebe-se uma relação entre vazão (m<sup>3</sup>/s) e fluxo mensal de nitrogênio amônio, onde nos meses de maior vazão ocorreu um maior fluxo do mesmo (Figura 14). Os valores mais significativos apresentados ocorreram no período entre janeiro e abril. Durante o período ocorreram maiores vazões, o que influenciou na elevação da carga mensal de nitrogênio amônio acima da média anual, mesma observação feita por Silva (2018) e Medeiros *et al.* (2014), ambos para o ano de 2004.

A variação do fluxo mensal de nitrogênio amônio para o ano hidrológico de 2009 (Figura 13) indicou que fevereiro (494,3888 ton.), março (148,5464 ton.) e maio (243,9776 ton.) foram os meses com valores elevados acima da média anual (107,2212 ton/mês). Identifica-se relação entre vazão (m<sup>3</sup>/s) e fluxo mensal de nitrogênio amônio, principalmente para os meses de fevereiro e março. Nesses meses ocorreram vazões maiores que no ano anterior (Figura 7). Essas vazões, semelhante ao ano de 2008, influenciaram na elevação da carga mensal de nitrogênio amônio acima da média anual (Figura 15). O mês de janeiro teve a maior vazão do ano (5393 m<sup>3</sup>/s), porém o fluxo de amônio foi relativamente baixo (94,6176 ton.) em comparação com os maiores valores. Silva (2018) concluiu que “o comportamento da variação temporal do amônio na área de estudo é bastante dinâmico”.

Para o ano de 2010 a variação do fluxo mensal de nitrogênio amônio (Figura 13) apresentou nos meses de janeiro (103,9449 ton.), fevereiro (78,6111 ton.), março (102,1275 ton.), abril (189,6399 ton.), junho (112,8823 ton.) e setembro (122,6175 ton.) valores acima da média anual (75,9276 ton/mês). Em comparação entre o gráfico da Figura 13 e os valores de vazão (Figura 7), identifica-se relação direta entre vazão (m<sup>3</sup>/s) e fluxo mensal de nitrogênio amônio, semelhante aos anos anteriores, nos quais as maiores cargas ocorreram nos meses de maiores vazões (Figura 16).

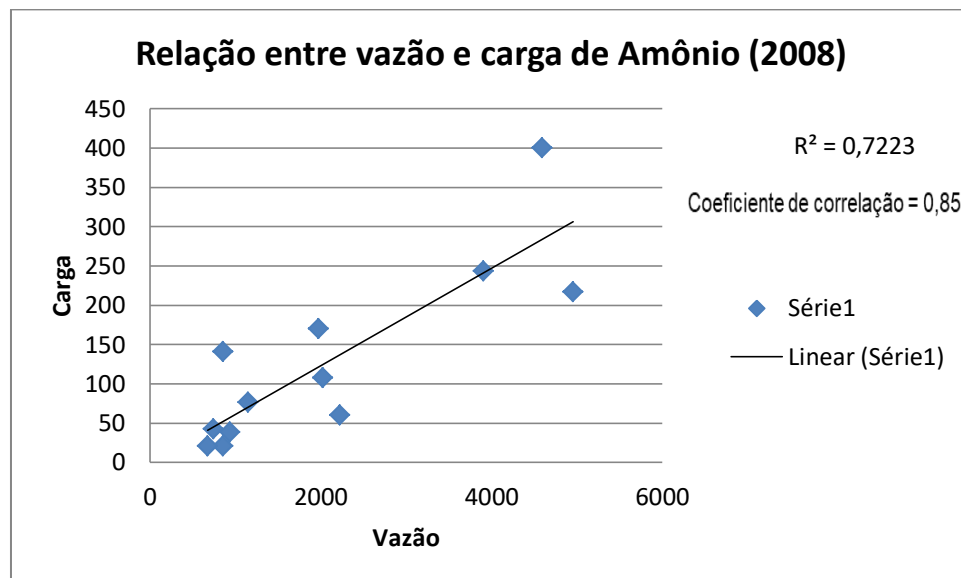
O ano de 2010 apresentou menor carga média anual de nitrogênio amônio em comparação com 2008 e 2009.

**Figura 13. Comportamento do fluxo de Amônio no Rio São Francisco, nos anos hidrológicos de 2008, 2009 e 2010.**



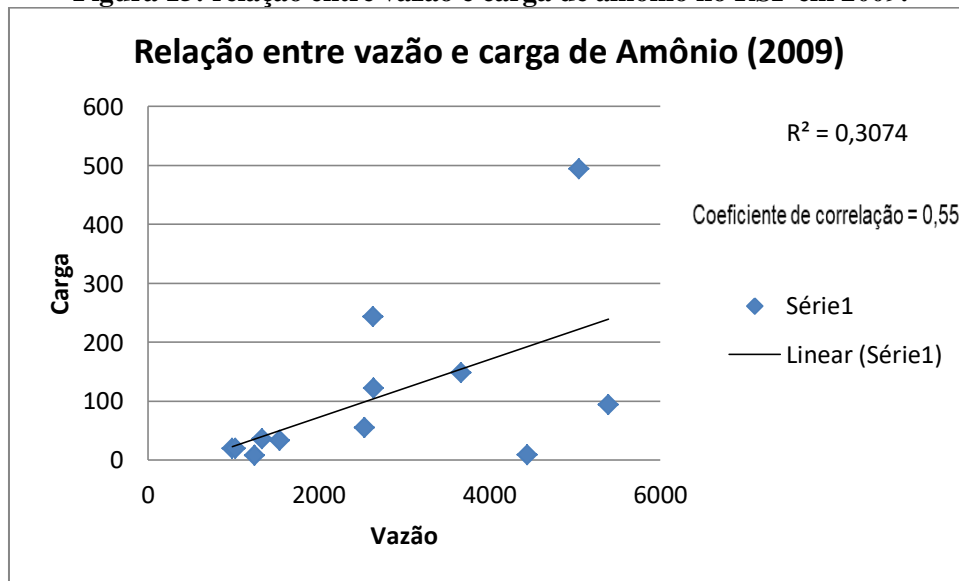
Fonte: LABMAR, 2019.

**Figura 14: relação entre vazão e carga de amônio no RSF em 2008.**



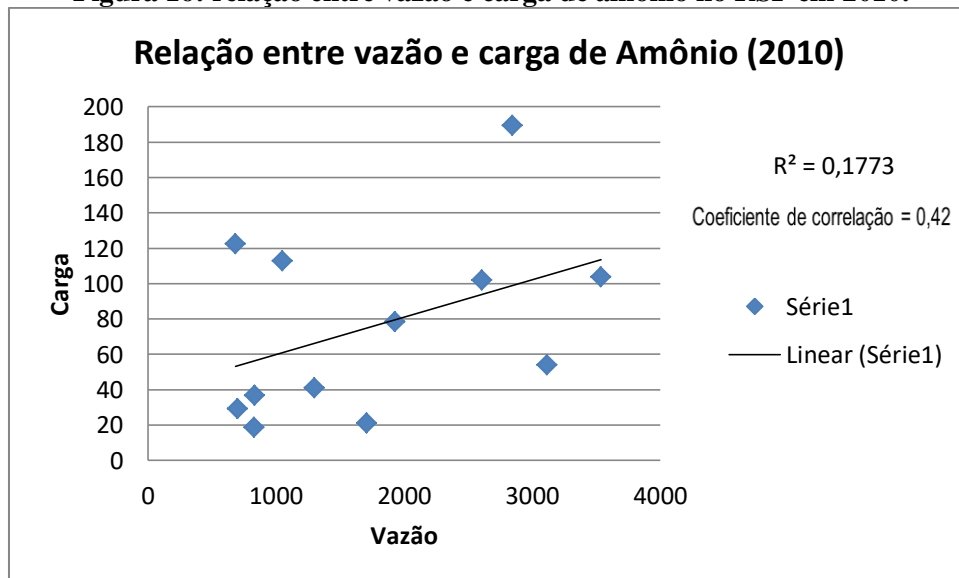
Fonte: atual pesquisa

**Figura 15: relação entre vazão e carga de amônio no RSF em 2009.**



Fonte: atual pesquisa.

**Figura 16: relação entre vazão e carga de amônio no RSF em 2010.**



Fonte: atual pesquisa.

Medeiros *et al.* (2011) observou que as cargas de amônio oscilaram entre 12 e 240 toneladas/mês entre novembro/2000 e março/2002. Essas cargas aumentaram durante dois períodos distintos, durante a diminuição de fluxo de água (fevereiro a maio de 2001) e com a recuperação do fluxo (outubro de 2001 a Março de 2002). Esse comportamento sugeriu que mudanças no tempo de permanência das águas nos reservatórios podem induzir alterações no processo de degradação da matéria orgânica nos sedimentos do fundo e provavelmente liberam amônio.

#### 4.6.1.2 Resultados para nitrogênio nítrito (NNO<sub>2</sub>)

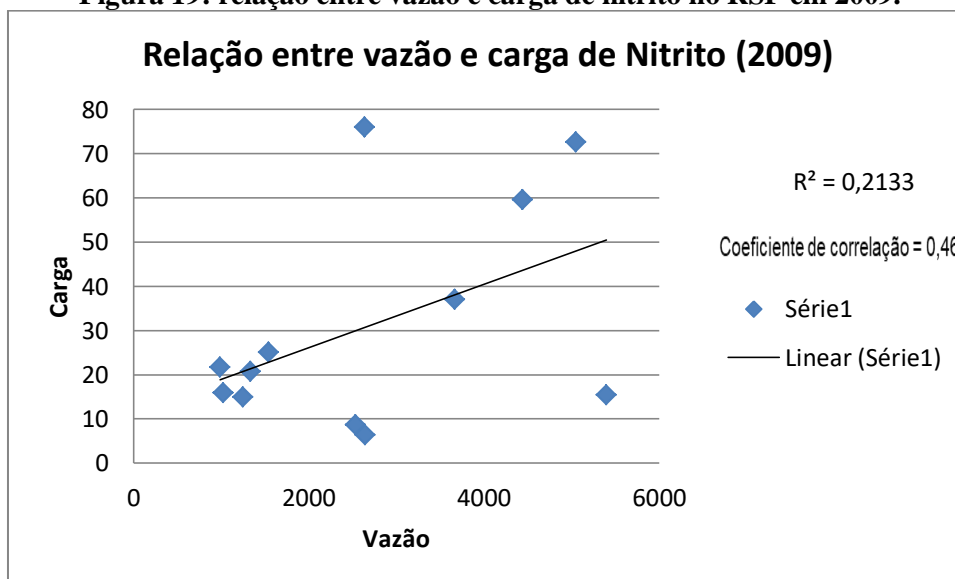
No gráfico da Figura 17 são apresentadas a média mensal e a média anual de nítrito no Rio São Francisco, onde em 2008, nos meses de fevereiro (13,5701 ton.), março (51,1150 ton.), abril (28,6956 ton.) e maio (23,1859 ton.) ocorreram elevações de nítrito acima da média anual (18,0080 ton/mês). Durante esse período ocorreram os maiores valores de vazões no ano de 2008 (Figura 7), o que demonstra que o aumento das vazões influenciaram no aumento das cargas mensais acima da média anual de nítrito (Figura 18).

Na Figura 17 são apresentadas a média mensal e a média anual de nítrito no Rio São Francisco, onde no ano de 2009, os meses de fevereiro (72,7042 ton.), março (37,1366 ton.), abril (59,6096 ton.) e maio (76,0577 ton.) apresentaram maiores elevações de nítrito em relação à média anual (31,2293 ton/mês). Os meses de junho (25,1468 ton.), agosto (21,7965 ton.) e outubro (20,7701 ton.) apresentaram valores ligeiramente acima da média anual. Os meses com cargas mais elevadas coincidem com períodos de maiores vazões no ano de 2009 (Figura 7), o que permite inferir que o aumento de vazão influenciou no aumento da carga mensal acima da média anual de nítrito (Figura 19). A média anual identificada na presente pesquisa foi maior que a observada por Medeiros *et al.* (2011) para os anos de 2000 e 2002. Em ambos os trabalhos os meses de fevereiro, março, abril e maio apresentaram cargas mais elevadas de nítrito.

A Figura 17 mostra o comportamento da carga de nitrogênio nítrito e a média anual no Rio São Francisco para o ano hidrológico de 2010, onde apenas os meses de março (127,2661 ton.) e abril (49,7797 ton.) apresentaram valores mais elevados em relação à média anual (21,72772 ton/mês). Os meses de março e abril apresentaram as vazões 2607 m<sup>3</sup>/s e 2846 m<sup>3</sup>/s respectivamente. As maiores vazões do ano ocorreram nos meses de janeiro (3538 m<sup>3</sup>/s) e dezembro (3118 m<sup>3</sup>/s), porém o fluxo de nítrito foi baixo, em comparação com a média anual, o que permite inferir que no ano de 2010 o Rio São Francisco apresentou um comportamento semelhante ao ano anterior, onde o aumento de vazão influenciou no aumento da carga mensal acima da média anual de nítrito de alguns meses (Figura 20).

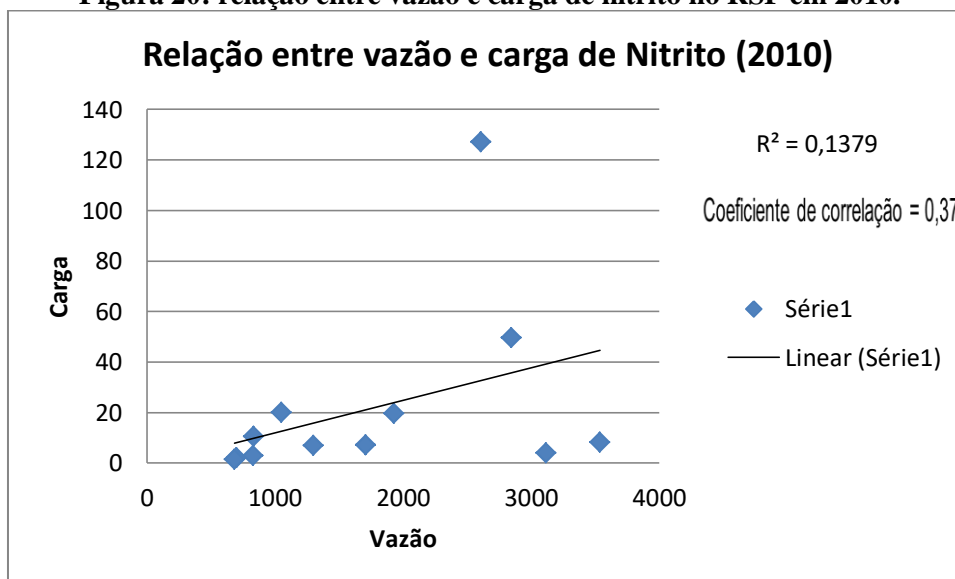


**Figura 19: relação entre vazão e carga de nitrito no RSF em 2009.**



Fonte: atual pesquisa.

**Figura 20: relação entre vazão e carga de nitrito no RSF em 2010.**



Fonte: atual pesquisa.

Medeiros *et al.* (2011) encontrou maiores cargas de nitrito no mesmo período da presente pesquisa, entre os meses de fevereiro e maio. Os anos analisados neste trabalho apresentaram médias anuais mais elevadas que os anos de 2000 e 2001.

Foi identificado um comportamento semelhante entre o nitrito e a amônia. Estas variáveis apresentaram maiores cargas nos meses de maiores vazões



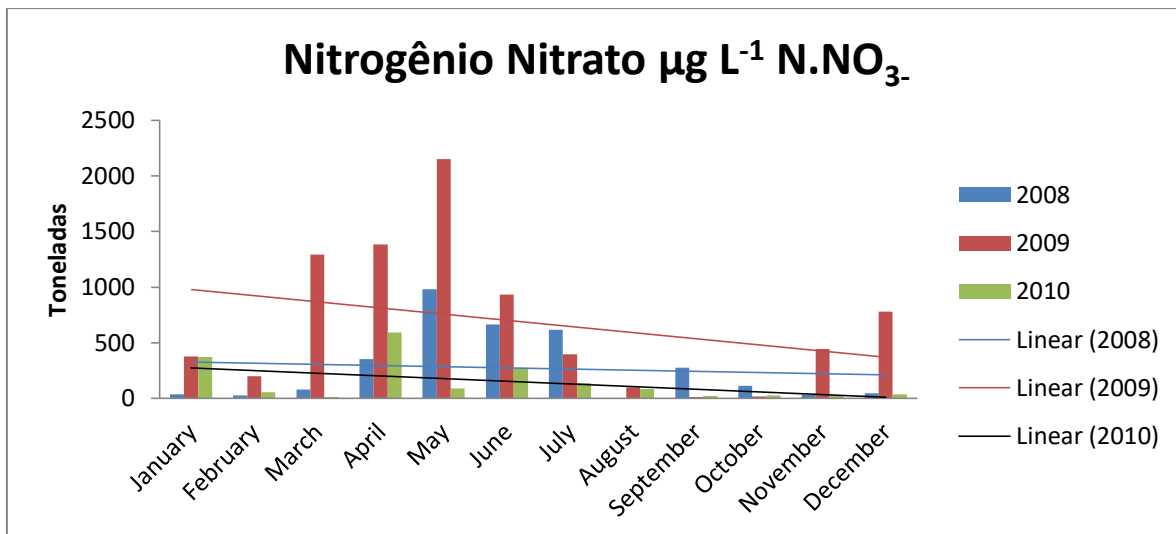
#### 4.6.1.3 . Resultados para nitrogênio nitrato (NNO<sub>3</sub>)

A Figura 21 mostra os valores obtidos para a média mensal e a média anual de nitrato no Rio São Francisco para o ano 2008, onde foram identificados valores mais elevados que a média anual nos meses de abril (350,9365 ton.) maio (980,6444 ton.) junho (665,2474 ton.) e julho (614,6253 ton.). As maiores vazões ocorreram nos meses de fevereiro (3907 m<sup>3</sup>/s), março (4594 m<sup>3</sup>/s) e abril (4953 m<sup>3</sup>/s). As maiores estrapolações acima da média anual (268,0202 ton/mês) ocorreram no início da estação chuvosa, que coincide com o período de maiores vazões (Figura 22).

A média mensal e a média anual de nitrato no Rio São Francisco para o ano de 2009 (Figura 21), apresentou valores mais elevados que a média anual nos meses de março (1292,9040 ton.), abril (1383,9097 ton.), maio (2151,3491 ton.) junho (934,9035 ton.) e dezembro (781,9746 ton.). As maiores vazões ocorreram nos meses de janeiro (5393 m<sup>3</sup>/s), fevereiro (5051 m<sup>3</sup>/s), março (3668 m<sup>3</sup>/s) e abril (4440 m<sup>3</sup>/s). As maiores estrapolações acima da média anual (674,3907 ton/mês) ocorreram nos meses de maiores vazões, indicando que o aumento de vazão influenciou na elevação da carga mensal (Figura 23).

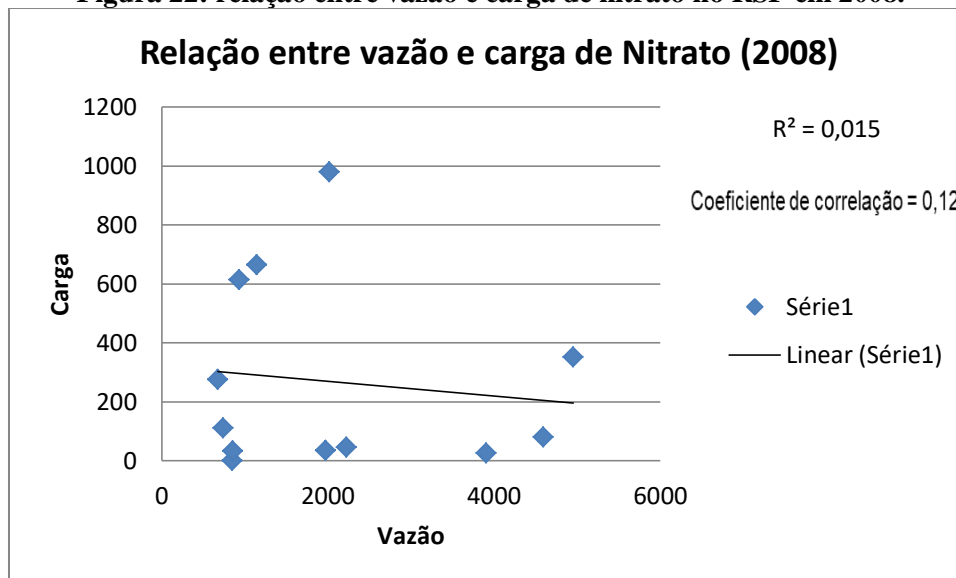
A Figura 21 apresenta os valores encontrados para a média mensal e a média anual de nitrato no Rio São Francisco para o ano de 2010, onde foram identificados valores mais elevados que a média anual (143,4764 ton/mês) nos meses de janeiro (370,2886 ton.), abril (592,6984 ton.) e junho (269,2099 ton.). As maiores vazões ocorreram nos meses de janeiro (3538 m<sup>3</sup>/s) e dezembro (3118 m<sup>3</sup>/s), que foram meses de baixa precipitação no sub-médio e no baixo São Francisco (Figura 5). As estrapolações acima da média anual ocorreram nos meses de maiores vazões, o que demonstra que o aumento da vazão influenciou na elevação da carga mensal acima da média anual (Figura 24).

**Figura 21. Comportamento do fluxo de nitrato no Rio São Francisco, nos anos hidrológicos de 2008, 2009 e 2010.**



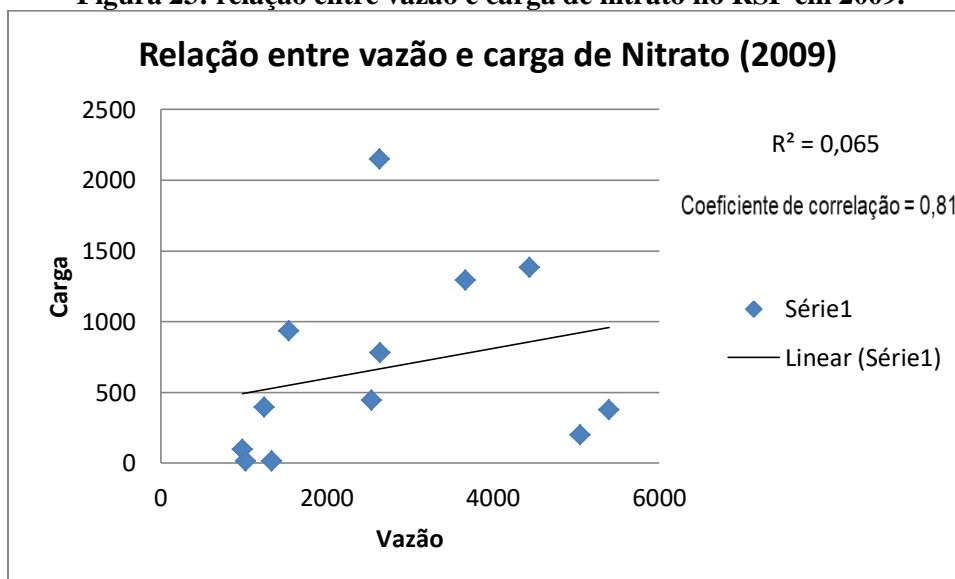
Fonte: LABMAR, 2019.

**Figura 22: relação entre vazão e carga de nitrato no RSF em 2008.**

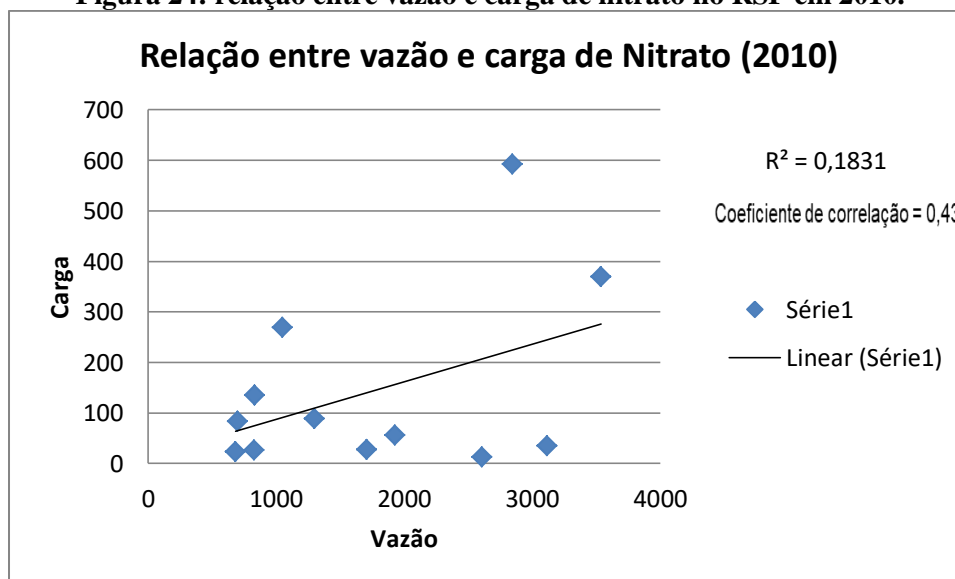


Fonte: atual pesquisa.

**Figura 23: relação entre vazão e carga de nitrato no RSF em 2009.**



**Figura 24: relação entre vazão e carga de nitrato no RSF em 2010.**



Dentre as três formas de nitrogênio analisadas o nitrato apresenta maiores cargas no ecossistema aquático, comportamento semelhante ao identificado por Medeiros *et al.* (2011) para o ano de 2004. Nos anos do presente estudo, 2008 e 2009 apresentaram cargas médias superiores às do ano de 2001.

As estrapolações acima da média anual ocorreram nos meses de maiores vazões nos três anos analisados, indicando que o aumento de vazão influenciou na elevação das cargas mensais acima da média anual (Figuras 22, 23 e 24).

Medeiros *et al.* (2011) observou haver maiores cargas de nitrato entre os meses de

fevereiro e junho para o ano de 2001, enquanto entre os anos de 2008 e 2010 os fluxos elevados acima da média anual se deram entre março e julho, sendo um caso à parte janeiro de 2010, com 370,28 toneladas.

#### 4.6.2. Fósforo ortofosfato (PPO<sub>4</sub>)

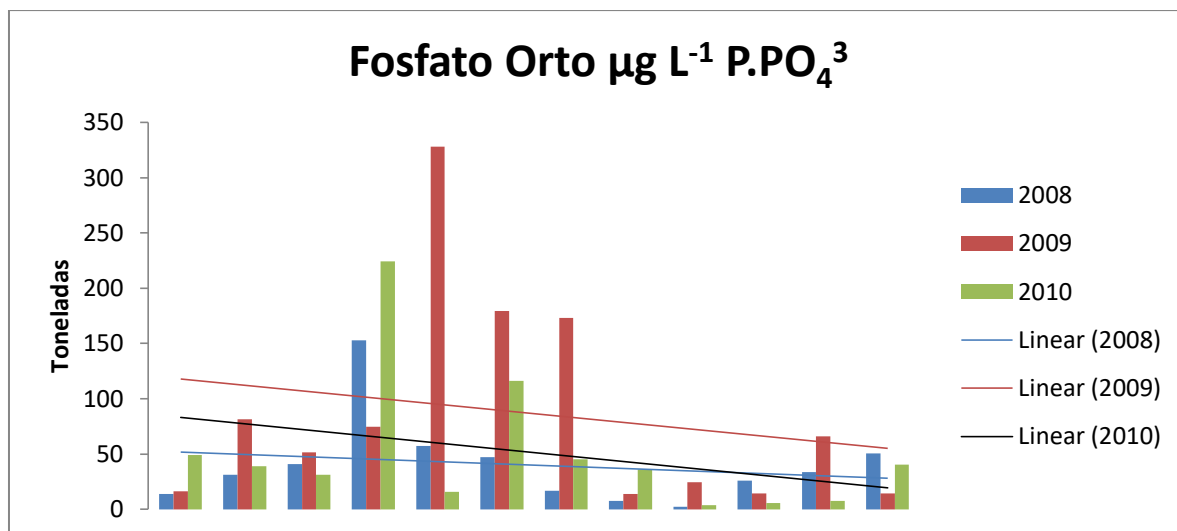
No ano de 2008 foram identificados maiores fluxos de fósforo ortofosfato para os meses de março (40,7206 ton.), abril (152,9451 ton.), maio (57,3121 ton.), junho (47,1900 ton.) e dezembro (50,3408 ton.) (Figura 25). Os meses com maiores vazões foram fevereiro (3907 m<sup>3</sup>/s), março (4594 m<sup>3</sup>/s), abril (4953 m<sup>3</sup>/s), maio (2021 m<sup>3</sup>/s) e dezembro (2223 m<sup>3</sup>/s) (Figura 7). As maiores precipitações ocorreram nos meses de março e maio (Figura 5). Observou-se que as cargas mensais de fósforo ortofosfato aumentaram conforme as vazões (Figura 26).

A Figura 25 mostra os valores mensais e a média anual obtida para as cargas de fósforo ortofosfato no ano hidrológico de 2009, no Rio São Francisco, onde os maiores valores encontrados ocorreram nos meses de maio (327,7611 ton.), junho (179,2470 ton.) e julho (172,8942 ton.), a média mensal foi de 86,4562 ton. As maiores vazões foram em janeiro (5393 m<sup>3</sup>/s), fevereiro (5051 m<sup>3</sup>/s), março (3668 m<sup>3</sup>/s) e abril (4440 m<sup>3</sup>/s) (Figura 7). As maiores precipitações ocorreram nos meses de maio, junho, julho e agosto (Figura 5). Assim, para o ano de 2009, as cargas mais elevadas não ocorreram necessariamente nos meses de maiores vazões, mas nos de maiores precipitações (Figura 27).

Os valores mensais e a média anual obtida para fósforo ortofosfato no ano hidrológico de 2010 (Figura 35) no Rio São Francisco mostram que os maiores valores encontrados ocorreram nos meses de abril (224,4116 ton.) e junho (115,9631 ton.), a média anual esteve em 51,2716 ton/mês. Os meses com maiores vazões foram janeiro (3538 m<sup>3</sup>/s), março (2607 m<sup>3</sup>/s), abril (2846 m<sup>3</sup>/s) e dezembro (3118 m<sup>3</sup>/s) (Figura 7) e as maiores precipitações ocorreram entre os meses de abril e agosto (Figura 5). Portanto conclui-se que as cargas foram mais elevadas nos meses de maiores precipitações. A Figura 28 apresenta ter havido relação entre vazão e carga de fósforo ortofosfato no RSF em 2010.

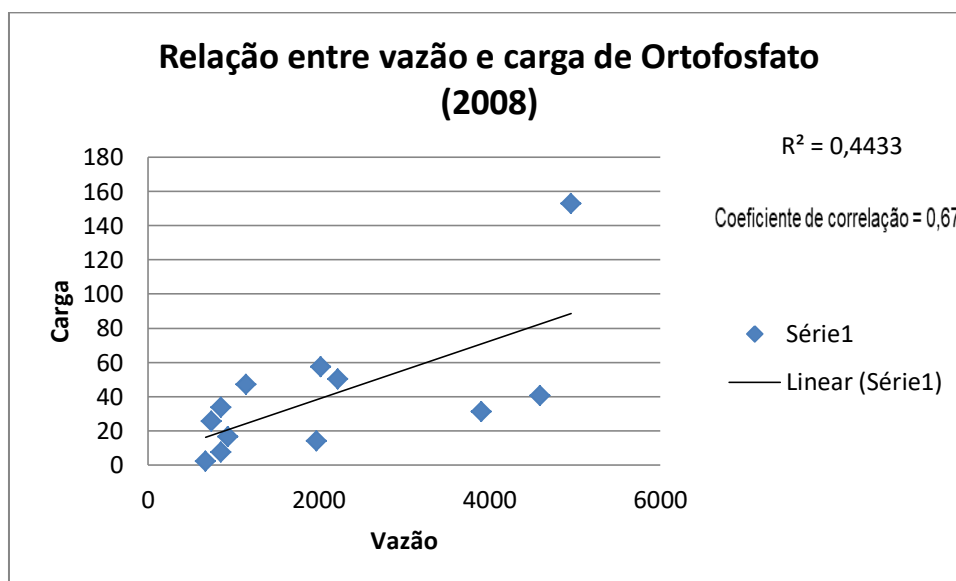
Medeiros *et al.* (2011) registrou que a menor carga mensal de PID ocorreu em setembro de 2001, atingindo cerca de 6t/mês. A partir de então os fluxos aumentaram devido ao incremento da descarga de água e também as próprias concentrações de fosfato.

**Figura 25. Comportamento do fluxo de fósforo ortofosfato no Rio São Francisco, nos anos hidrológicos de 2008, 2009 e 2010.**



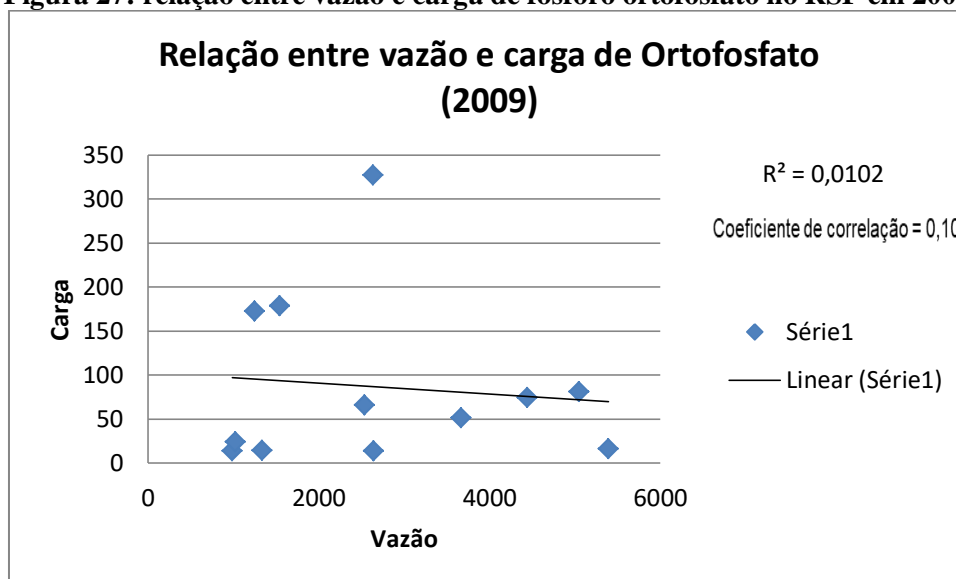
Fonte: LABMAR, 2019.

**Figura 26: relação entre vazão e carga de fósforo ortofosfato no RSF em 2008.**



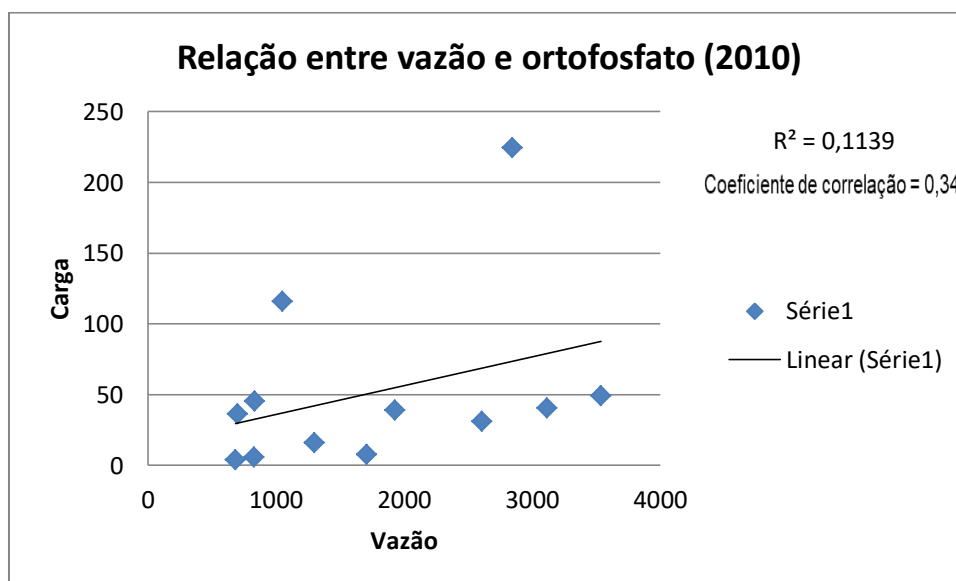
Fonte: atual pesquisa.

**Figura 27: relação entre vazão e carga de fósforo ortofosfato no RSF em 2009.**



Fonte: atual pesquisa.

**Figura 28: relação entre vazão e carga de fósforo ortofosfato no RSF em 2010.**



Fonte: atual pesquisa.

Os anos de 2009 e 2010 apresentaram cargas médias superiores ao ano de 2008. As estrapolações acima da média anual não apresentaram comportamento padrão, ocorrendo em meses de vazões elevadas em 2008 e de vazões abaixo da média, em 2009 e 2010.

A presente pesquisa identificou maiores cargas médias que as identificadas por Medeiros *et al.* (2011) para os anos de 2000 a 2002, onde as exceções foram os meses de fevereiro e março de 2002, com cargas acima de 200 e 300 toneladas respectivamente.

Medeiros *et al.* (2011) identificou que o fosfato inorgânico dissolvido (PID) apresentou uma menor variação ao longo do estudo, exceto no período de recuperação do fluxo de água, a partir de outubro 2001 a março de 2002.

#### 4.7. Rendimento (Yield)

A carga específica se refere à carga anual normalizada pela área da bacia de drenagem (carga anual/área da bacia = t/km<sup>2</sup>/ano). Esta reflete o rendimento ao longo do tempo do elemento para cada quilômetro quadrado da bacia (MEDEIROS *et al.*, 2011). É uma taxa importante que permite comparação com os rendimentos de outras bacias, pois retira a influência do peso da área da bacia de drenagem a partir da carga do elemento em questão (MILLIMAN e MEADE, 1983).

No ano de 2010 o Nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) apresentou 0,004526746 t/km<sup>2</sup>/ano NID, resultado menor que o identificado no ano anterior, 0,015259397 t/km<sup>2</sup>/ano NID (2009). Para 2008 foi identificado valor intermediário (0,007771407 t/km<sup>2</sup>/ano NID). Medeiros (2011) identificou 0,006 t/km<sup>2</sup>/ano NID no Rio São Francisco, considerado extremamente baixo quando comparado com 0,11 toneladas/km<sup>2</sup>/ano calculado por Santos (1993) nos anos de 1984-1985. Quando comparado com outros rios tropicais o São Francisco apresenta baixa produção de NID (Tabela 8).

**Tabela 9: Yield para NID.**

**NID= NH<sub>4</sub>+NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>**

ANO	ÁREA DA BACIA	CARGA ANUAL (NID)	YIELD (NID)
2010		2893,582336	<b>0,004526746</b>
2009	639.219 km <sup>2</sup>	9754,096533	<b>0,015259397</b>
2008		4967,631088	<b>0,007771407</b>

Fonte: atual pesquisa.

Para fósforo ortofosfato (Tabela 9), no ano de 2010 foram identificadas 0,000962518 t/km<sup>2</sup>/ano PID, resultado menor que o identificado em 2009, 0,001623035 t/km<sup>2</sup>/ano PID. Para 2008 foi identificado (0,000750314 t/km<sup>2</sup>/ano PID).

Medeiros (2011) encontrou rendimento (Tabela 10) de fósforo inorgânico dissolvido (DIP) de 0,002 toneladas/km<sup>2</sup>/ano, considerado baixo. Neste estudo, como o NID, o PID pode

ser considerado baixo quando comparado com os rios Zambeze e Tocantins (ambos 0,001 t/km<sup>2</sup>/ano PID).

**Tabela 10: Yield para fosfato.**

**Fosfato**

ANO	ÁREA DA BACIA	CARGA ANUAL	YIELD
2010		615,2603893	<b>0,000962518</b>
2009	639.219 km <sup>2</sup>	1037,475021	<b>0,001623035</b>
2008		479,6155674	<b>0,000750314</b>

Fonte: atual pesquisa.

No estudo de Santos (1993), o rio São Francisco, embora já impactado por suas barragens, ainda apresentou cargas NID específicas comparáveis às do Orinoco e Tocantins. Medeiros *et al.* (2011) observa que após a conclusão da cascata de barragens e a regulação do fluxo dos rios após 1995, a carga NID específica diminuiu a níveis abaixo dos do Congo tropical (ou Zaire) e Zambeze, que já possuíam cargas específicas mais baixas.

A comparação das cargas específicas de NID e PID do RSF com outros rios tropicais mostram que diferenças de gradiente, tamanho, cobertura vegetal e obras de engenharia tiveram efeitos diferentes sobre as cargas específicas de nutrientes (MEDEIROS *et al.*, 2011).

**Tabela 11: Comparação das cargas específicas (yield) de NID e PID.**

Rio	Área da Bacia 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	Vazão Anual Km <sup>3</sup>	NID t/km <sup>2</sup> /ano	PID t/km <sup>2</sup> /ano	País
Purari	0,03	84	0,220	0,005	Papua
Paraíba do Sul	0,05	28	0,180	0,020	Brasil
Madalena	0,24	237	0,292	0,121	Colômbia
São Francisco (1)	0,64	100	0,110	_____	Brasil
São Francisco (2)	0,64	52	0,006	0,002	Brasil
SF 2008	0,64	53	0,004	0,0009	Brasil
SF 2009	0,64	70	0,015	0,001	Brasil
SF 2010	0,64	45	0,007	0,0007	Brasil
Tocantins	0,76	372	0,074	0,001	Brasil
Orinoco	1,1	1135	0,119	0,010	Venezuela
Zambezi	1,33	106	0,010	0,001	Moçambique
Zaire	3,7	1200	0,031	0,008	Zaire
Amazonas	6,11	6590	0,173	0,024	Brasil

Fonte: Medeiros *et al.*, 2011. Adaptação: Rogério da Silva Santos. (1) 1993; (2) 2001.



Ao se comparar com outros rios tropicais pode-se perceber que o Rio São Francisco apresentou rendimento abaixo de outros rios do mundo. O rendimento de NID esteve abaixo dos valores de 1993 (0,110), mas quando comparado com 2001 apenas o ano de 2008 esteve abaixo (0,004).

O PID manteve-se abaixo dos índices encontrados por Medeiros (2003) em todos os anos, indicando que o rendimento médio de fósforo foi reduzido no RSF ao longo dos anos analisados.

#### **4.8 . Relação precipitação com cargas**

Para a seguinte análise foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman, este varia entre -1 e 1, sendo que os sinais negativo e positivo indicam direção, enquanto o valor indica a magnitude da correlação. Mais perto de 1 representa nível mais forte de associação entre as variáveis. Quanto mais perto de zero, menor é o nível de associação, ou ausência de correlação (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Correlação positiva indica que quando um parâmetro aumenta ocorre o mesmo com o outro, logo, valores altos de determinado parâmetro estão associados a valores altos de outro parâmetro. Correlação negativa indica que quando um parâmetro aumenta o outro diminui, assim, valores altos de determinado parâmetro estão associados a valores baixos de outro parâmetro (Figueiredo *et al.*, 2014).

O coeficiente de correlação de Spearman foi empregado para explicar o relacionamento entre precipitação com as cargas de fósforo ortofosfato e cargas de nitrogênio total dissolvido nos setores sub-médio e baixo SF nos anos estudados.

Os resultados da correlação estão na Tabela 11. Foi considerada a classificação para a magnitude dos coeficientes de correlação adotada por Ribeiro *et al.*, (2016): valores entre 0,10 e 0,29 (fracos), escores entre 0,30 e 0,49 (moderados) e valores entre 0,50 e 1 (fortes), sendo negativos ou positivos.

Nos anos de 2008, 2009 e 2010 não tem relação significativa entre a precipitação no sub-médio SF com as cargas, sendo uma exceção a relação carga de Nitrogênio total dissolvido e Precipitação no SMSF em 2009.

Nos anos de 2008 e 2010 ocorreu correlação positiva do nitrogênio total dissolvido com precipitação no baixo SF, confirmando a constatação de Medeiros *et al.* (2011) e Medeiros *et al.* (2016).

No ano de 2009 não tem correlação significativa entre a carga de Nitrogênio total

dissolvido com precipitação no baixo SF.

No ano de 2010 foi identificada correlação da precipitação com as cargas de nitrogênio total dissolvido e fósforo ortofosfato.

Foi identificado que apesar da maior precipitação anual ter sido em 2009, foi na mesma ordem de grandeza que os demais anos em questão. As relações das cargas com a precipitação só ocorreram no baixo SF.

A precipitação no baixo SF apresentou correlação positiva com as cargas de fósforo ortofosfato (Tabela 11), sendo possível observar que os fatores que mais influenciaram nas cargas de nutrientes nos anos analisados foram vazão e localização geográfica da precipitação. Isso corrobora com a constatação de Medeiros *et al.* (2011) e Medeiros *et al.* (2016), onde é afirmado que a localização geográfica da precipitação nas porções inferiores é mais importante para o fluxo de nutrientes que a magnitude da precipitação. Isso decore da menor retenção de matéria pelo sistema de barragens em cascata e por essa precipitação se dar em regiões.

**Tabela 12: Resultados da correlação de Spearman para vazão, carga de fósforo ortofosfato, carga de nitrogênio total e precipitação nos setores sub-médio e baixo SF nos anos estudados.**

Ano	2008	2009	2010	2008	2009	2010
	Psub-médio	Psub-médio	Psub-médio	Pbaixo	Pbaixo	Pbaixo
<b>CPO4</b>	0,291122	-0,063382	0,286475	0,314685	0,454545	<b>0,418533</b>
<b>CNtotal</b>	0,067182	0,507055	0,287398	<b>0,811189</b>	0,244755	<b>0,444015</b>
<b>Psub-médio</b>	1,000000	1,000000	1,000000	0,074647	-0,119721	-0,025048
<b>Pbaixo</b>	0,074647	-0,119721	-0,025048	1,000000	1,000000	1,000000

CPO4 (carga de fósforo ortofosfato), CNtotal (carga de nitrogênio total), Psubmedio – (precipitação no sub-médio SF), Pbaixo – (precipitação no baixo SF).

Fonte: atual pesquisa.

#### 4.9 . Índice de Eutrofização

A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, planctônicas ou aderidas, a níveis considerados causadores de interferências nos usos desejáveis dos corpos d'água (THOMANN e MUELLER, 1987), o principal fator é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo. Eutrofização ocorre principalmente em lagos e represas, podendo ocorrer também em rios, o que é menos frequente, devido a turbidez e velocidades elevadas, o que cria condições ambientais serem menos favoráveis para o crescimento de algas e outras plantas. É um relevante processo indicativo de degradação de ecossistemas aquáticos. Ações antrópicas podem aumentar os nutrientes na água, provocando um maior desenvolvimento das populações de fitoplânctons,

acelerando esse processo, podendo-se observar um frequente florescimento de algas (GONÇALVES, 2008).

Atividades antrópicas podem fazer com que o sistema produza mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor, causando desequilíbrio no ecossistema e aceleração da eutrofização. Altos aportes de nitrogênio (N) e fósforo (P) são causadores do aceleração desse processo, por influenciar no aumento da produção primária. Geralmente esses nutrientes são provenientes da emissão de esgotos das grandes cidades e de dejetos industriais e agrícolas (DERÍSIO, 1992).

O aumento da eutrofização pode gerar problemas estéticos, odores indesejáveis, mortalidade de peixes, aumento das doenças de veiculação hídrica nas populações que residem próximo a corpos d'água contaminados e, em caso de lagos, um gradual desaparecimento do mesmo (Tabela 13). Como medida para controlar o problema pode haver redução das fontes externas e tratamento dos efluentes domésticos e industriais. Como medidas corretivas podem ser remoção de algas, remoção de sedimentos, uso de algicidas e uso de peixes herbívoros, dentre outros meios (DERÍSIO, 1992).

**Tabela 13: IET, resultados possíveis e definições.**

<b>Estado trófico</b>	<b>Características dos corpos de água</b>
Ultraoligotrófico	Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	Limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, pela presença de nutrientes.
Mesotrófico	Com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	Com alta produtividade e redução da transparência, afetados por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
Supereutrófico	Corpos de água com alta produtividade, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, com frequentes alterações indesejáveis na qualidade da água, como florações de algas e interferências nos seus múltiplos usos.
Hipereutrófico	Corpos de água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Adaptado de CETESB (2009).

Para o cálculo do IET foram considerados apenas valores de clorofila *a* e fósforo total, conforme indicado na metodologia proposta por Lamparelli (2004).

$$\text{IET Médio} = \frac{\text{IET Fósforo Total} + \text{IET Clorofila}}{2}$$

Os valores obtidos são apresentados na Tabela 14.

**Tabela 14: valores obtidos para IET.**

<b>Índice de Estado Trófico do fósforo e clorofila <i>a</i></b>	<b>IET MÉDIO</b>
<b>2008</b>	<b>39,4964</b> (ultraoligotrófico)
<b>2009</b>	<b>39,1637</b> (ultraoligotrófico)
<b>2010</b>	<b>39,5986</b> (ultraoligotrófico)

Fonte: atual pesquisa.

De acordo com Lamparelli (2004) para se fazer avaliação do grau de limitação da produção primária se faz necessário comparar a classe trófica em que está o IET Pt e o IET Clorofila *a*, quando ambos os índices estão na mesma classe o grau de limitação da produção primária é considerado normal. Se o índice do fósforo total estiver em uma classe trófica superior ao índice de clorofila *a* considera-se o grau de limitação alto, quando ocorre o inverso nesse processo, caso identificado nesta pesquisa, a limitação da produção primária será baixa. Os valores obtidos mostram que no ano de 2008 o IET médio foi de 39,4964, no ano de 2009 obteve-se 39,1637 e para 2010 o valor foi 39,5986. Com isso, nos três anos em estudo o Rio São Francisco indica um estado ultraoligotrófico, um estado trófico muito baixo, que são corpos de água limpos, com baixa produtividade, concentrações insignificantes de nutrientes sem prejuízos ao uso das águas (Tabela 15).

**Tabela 15: Caracterização trófica de lagos e reservatórios.**

Item	Classe de trofia				
	Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Biomassa	Bastante baixa	Reduzida	Média	Alta	Bastante alta
Fração de algas verdes e/ou cianofíceas	Baixa	Baixa	Variável	Alta	Bastante alta
Macrófitas	Baixa ou ausente	Baixa	Variável	Alta ou baixa	Baixa
Dinâmica de produção	Bastante baixa	Baixa	Média	Alta	Alta, instável
Dinâmica de oxigênio na camada superior	Normalmente saturado	Normalmente saturado	Variável em torno da supersaturação	Frequentemente e supersaturado	Bastante instável, de supersaturação à ausência
Dinâmica de oxigênio na camada inferior	Normalmente saturado	Normalmente saturado	Variável abaixo da saturação	Abaixo da saturação à completa ausência	Bastante instável, de supersaturação à ausência
Prejuízo aos usos múltiplos	Baixo	Baixo	Variável	Alto	Bastante alto

Fonte: adaptado de Vollenweider (*apud* Salas e Martino, 1991).

De acordo com os valores médios encontrados pode-se observar que o Rio São Francisco está classificado em ultraoligotrófico, o que demonstra haver uma produtividade irregular em relação às condições naturais, geralmente de causas antrópicas. Painting, *et al.*, (2007) afirma que:

Em virtude da variabilidade sazonal dos processos ambientais que têm influência sobre o grau de eutrofização de um corpo hídrico, o processo de eutrofização pode apresentar variações no decorrer do ano, havendo épocas em que se desenvolve de forma mais intensa e outras em que pode ser mais limitado.

Ferramentas de análise são importantes para a preservação e gerenciamento dos recursos naturais, pois fornecem indicativos para a análise ambiental e com isso estabelece relações entre fatores causais e os efeitos diretos e indiretos da eutrofização. O Índice de Estado Trófico se mostra como uma ferramenta para avaliar a qualidade da água, sendo assim possível detectar influência de fatores antrópicos que podem levar a um processo de eutrofização das águas.

A Lei Nº 5.965/97, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, afirma em seu artigo primeiro que “A água é um bem de domínio público”. Fazer isso acontecer é um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade atualmente, pois ainda não alcançamos as

mudanças de comportamentos em relação à água e ao meio ambiente necessários. A exclusão hídrica se apresenta com maior intensidade em países subdesenvolvidos, onde muitas pessoas não tem acesso à água encanada e suas fontes hídricas, muitas vezes, são precárias.

## **CONCLUSÃO**

Nas últimas décadas o Rio São Francisco e seu estuário passaram a ter grande redução na descarga de água doce. Este sofreu vários impactos ligados ao sistema de barragens em cascata ao longo de seu curso, essas alterações tiveram seu ápice em 1994, com a instalação da Usina Hidrelétrica de Xingó reduzindo e regularizando os eventos de cheias no baixo RSF, ocorrendo redução de eventos extremos de mínimos e máximos de vazão.

Neste estudo o NID e o PID podem ser considerados baixos quando comparados com outros rios tropicais. Após a conclusão da cascata de barragens e a regulação do fluxo dos rios após 1995, as cargas específicas de NID e PID diminuíram a níveis abaixo de rios tropicais que já possuíam cargas específicas mais baixas.

A comparação das cargas específicas de NID e PID do RSF com outros rios tropicais mostram que diferenças de gradiente, tamanho, cobertura vegetal e obras de engenharia tiveram efeitos diferentes sobre as cargas específicas de nutrientes.

Os valores obtidos mostram que no ano de 2008 o IET médio foi de 39,4964, no ano de 2009 obteve-se 39,1637 e para 2010 o valor foi 39,5986. Com isso, nos três anos em estudo o Rio São Francisco indica um estado ultraoligotrófico, um estado trófico muito baixo, que são corpos de água limpos, com baixa produtividade, concentrações insignificantes de nutrientes sem prejuízos ao uso das águas.

A localização da precipitação é mais significativa para o fluxo de nutrientes no Baixo São Francisco do que a magnitude da precipitação.

Disponibilidade de água doce de boa qualidade representa possibilidade de desenvolvimento econômico, qualidade de vida para as populações humanas, e sustentabilidade dos ciclos biogeoquímicos.

## **AGRADECIMENTOS**

À Fapeal (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas) e à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), por bolsa concedida ao mestrando.

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Brasília: ANA, 2015. Pp. 125-141.

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Programas Nacionais do PNRH. PRODUTO 03: Avaliação de Programas Nacionais. Versão final – Síntese, Comentários e Recomendações**. 2005. 127p. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/pnrh novo/docs/Avaliacao\\_Programas\\_Nacionais.pdf](http://www.ana.gov.br/pnrh novo/docs/Avaliacao_Programas_Nacionais.pdf)> Acesso em: dezembro de 2018.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> >. Acesso em março de 2019.

ARAÚJO, S. M. S. **A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos**. Revista Rios Eletrônica. Ano 5, n. 5 dez. de 2011. Pp 89-98.

BASTOS, R. B.; FEITOSA, F.A.N.; MUNIZ, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do Rio Uma (Pernambuco-Brasil). **Tropical Oceanography**, Pernambuco, v3, n.1, p.1-18, 2005.

Bernardes L.M.C. **Notas sobre o clima da bacia do Rio São Francisco**. Revista Brasileira de Geologia, Rio de Janeiro 13 (3): 473-89. 1951.

BOTELHO, R. G. M. SILVA, A. S. da. **Bacia hidrográfica e qualidade ambiental**. In: VITTE, A. C. GUERRA, A. J. T. Reflexão sobre a Geografia Física no Brasil. 1ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Pp. 153-192.

BOTELHO, R. G.; TORNISIELO, V. L. Avaliação espaço-temporal da clorofila a e do Índice de Estado Trófico no Rio Piracicaba, São Paulo, Brasil. **HOLOS Environment**, v. 14, n. 2, 2014. p 124-134.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. CONAMA – Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 23 p.

CARMOUZE, J. P. **The Metabolism of Aquatic Ecosystems**. São Paulo: Ed. EdgardBluecher/ FAPESP, 1994, p. 253.

CASTELLETTI, C.H.M.; *et al.* **Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar**. In: SILVA, J.M.C.; *et al.* (orgs.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2004. pp. 91-100.



CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf>>. Acesso em: 30 de set. 2019.

CHESF - **COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO**. Disponível em: <[www.Chesf.com.br](http://www.Chesf.com.br); 2008> Acesso em : agosto de 2019.

CORREIA, M. F.; DIAS, M. A. F. S. Variação do nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v.8, n.1, p.157-168, 2003.

Cotovicz Jr, L. C. **Aplicação de modelos (ASSETS e TRIX) para avaliação do estado trófico e cenário futuro da eutrofização do complexo estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba, (AL)**. Dissertação de mestrado. Niterói : UFF. 2012. 122 f.

CUNHA, S. B. **Bacias hidrográficas**. In: CUNHA, S. B. GUERRA, A. J. T. *Geomorfologia do Brasil*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. Pp 229-271.

CUNHA, S. B. da. **Impactos geomorfológicos da barragem de Xingó – baixo curso do rio São Francisco**. In: SANTOS, M. *et al.* *Território, territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2007. Pp. 353-374.

DELLAGIUSTINA, A. **Determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos em diferentes locais do rio Itajaí - Açú**. Dissertação de mestrado em Química Analítica. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC-QMC, 2000.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 1 ed. São Paulo CETESB, 1992.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1998. 602 p.

ESTEVES, F. de A.; AMADO, A. M. **Nitrogênio**. In: ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de limnologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Pp. 239-258.

ESTEVES, F. de A.; MENEZES, C. F. S.; **Papel da água e da limnologia na sociedade moderna**. In: ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de limnologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Pp. 63-72.

ESTEVES, F. de A.; PANOSO, R. **Fósforo**. In: ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de limnologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Pp. 259-281.

FIGUEIRÓ, A. S. **Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza**. São Paulo: Oficina de textos, 2015. Pp. 155-207.

GONÇALVES, C. U. OLIVEIRA, C. F. de. **Rio São Francisco: as águas correm para o mercado**. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 29, n. 2, pp. 113-125, jul-dez, 2009.

FROELICH, P. N. **Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: a primer on the phosphate buffer mechanism.** *Limnology and Oceanography*, 33: 649-668, 1988.

FULLER, B. B. **Caracterização espaço-temporal dos recursos hídricos superficiais da sub-bacia do Ribeirão do Ouro, Araraquara.** 144f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Centro Universitário Araraquara, 2008.

GARRELS, L.M.; MAKENZIE, F. T. **Evolution of sedimentary rocks.** New York, Norton Inc. 1971. 307 p.

GONÇALVES, G. W. P. S. **Urbanização e Qualidade da Água: Monitoramento em lagos urbanos de Londrina-PR.** Londrina, 2008, Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Estadual de Londrina.

HALIM, Y. **The impact of human alterations of the hydrological cycle on ocean margins.** In: Mantoura, R.F.C.; Martin, J.M. & Wollast R. (eds.) *Ocean Margin Processes in Global Change.* John Wiley & Sons, New York. . 1991. 301-328 pp.

IBGE - **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.** Disponível em:  
<[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1418&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1418&id_pagina=1)> Acesso em: Outubro de 2018.

IBAMA – **UNSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE.** Disponível em:  
<[ibama.gov.br/](http://ibama.gov.br/)> Acesso em : Novembro de 2019.

KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P.R.P.; SOUZA, W.F.L.; JENNERJAHN, T. **The São Francisco Estuary, Brazil.** In: Wangersky, P. (ed.) *The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 5- Water Pollution: estuaries.* Springer Verlag, Berlin. 51-70 pp. 2005.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de Trofia em Corpos d'Água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** São Paulo: USP, 2004. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2004.

LANNA, A. E. **Gestão dos recursos hídricos.** In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação.* 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 2009. Pp 727-768.

MARINS, R. V. PAULA FILHO, F. J. ROCHA, C. A. S. **Geoquímica do fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe – Costa Nordeste Oriental brasileira.** *Química Nova*, São Paulo, vol. 30, n. 5, p. 1208-1214, jul. 2007.

MEDEIROS, P. R. P. **Aporte fluvial, transformação e dispersão da matéria em suspensão e nutrientes no estuário do Rio São Francisco, após a construção da Usina Hidroelétrica do Xingó (AL/SE).** Tese (Doutorado em Geociências), - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2003.

- MEDEIROS, P. R. P. *et al.* **Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL).** *Geochimica Brasiliensis*, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 212-231, jun. 2007.
- MEDEIROS, P. R. P. *et al.* **Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas.** *Brasilian Journal of Aquatic Science and Technology*, Itajaí, v. 15, n. 1, pp. 42-53, jan-jun, 2011a.
- MEDEIROS, P. R. P. *et al.* **Changes in nutriente loads (N, P and Si) in the São Francisco estuary after the construction of dams.** *Brasilian archives of biology and technology*. V. 54, n. 2, pp. 387-397. Mar-apr.2011b.
- MEDEIROS, P. R. P. *et al.* **Características ambientais do baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano.** *Geochimica Brasiliensis*. São Paulo, v. 28, n. 1. Pp. 65-78. 2014.
- MEDEIROS, P. R. P. *et al.* **Inter-annual variability on the water quality in the lower São Francisco river (NE-Brasil).** *Acta Limnológica Brasiliensia*, Rio Claro, v. 28, n. 5. Pp. 1-11. 2016.
- MEDEIROS, P. R. P. *et al.* **The São Francisco river (NE): review on the interannual loading of particulate matter suspended to the ocean and impacts of dams.** *International journal of Hydrology*, v. 2, n. 2. Pp. 195-198, 2018.
- MEYBECK, M. **River basin under anthropocene conditions.** In: VON BOUDUNGEN, B.; TUNER, K. (eds) *Science and Integrated Basin Management*. Dahlem workshop series, Wiley, 307 -329 pp. 2001.
- Meybeck, M. **Carbon, Nitrogen and phosphorus transport by rivers.** *Amer J. Sci.* 282 p. 401-450, 1982.
- MILLIMAN J.D. **Flux and fate of fluvial sediment and water in coastal seas.** In: MANTOURA, R.F.C.; MARTIN, J.M.; WOLLAST, R. (Eds.). *Ocean Margin Processes in Global Change*, John Wiley & Sons, 1991. p. 60-90.
- MILLIMAN, J. D.; MEADE, R.H. **World-Wide Delevery of River Sediment to the Oceans.** *J. Geol.*, 91. 1983. pp 1-21.
- NIMER, E. **Climatologia da região nordeste do Brasil.** *Ver. Bras. Geog.* 34 (2): 3-51. 1972.
- PAINTING, S. J. *et al.* **Assessing the impact of nutrient enrichment inestuaries: susceptibility to eutrophication.** *Marine Pollution Bulletin*, Oxford, v. 55, p. 74-90, 2007.
- PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul.** In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (eds.). *Ecologia e conservação da caatinga*. Ed. Universitária da UFPE, Recife. 2003. Pp. 3-73.
- RIBEIRO, A. R. *et al.* **Estudo da dieta natural da ictiofauna de um reservatório centenário, São Paulo, Brasil.** *Dez/2014. Iheringia, Série Zoologia*, Porto Alegre, 104 (4): pp 404-412.

RICHEY, J. E. *et al.* **Water discharge and suspekded sediment concentrations in the Amazon River: 1982-1984.** Water Rcsour. 1986 Res. 22: 756- 764.

RODRIGUEZ, M. P. **Avaliação da qualidade da água da bacia do alto Jacaré-Guaçú-SP (Ribeirão do Feijão e do Rio Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas.** 2001. Tese de doutorado: Universidade de São Paulo.

SAMPAIO, Y.; BATISTA, J. E. M. **Desenvolvimento regional e pressões antrópicas no bioma caatinga.** In: SILVA, J. M. C.; *et al.* (orgs). Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2004. Pp. 311-324.

SANTOS, C. M. M. **Geoquímica do carbono e nitrogênio orgânico particulado transportados durante um ano hidrológico (1984-1985) pelo rio São Francisco, Brasil, e transferidos ao seu estuário.** 1993. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SHELTON, D. R. KUCZYNSKA, E. **Method for detection and enumeration of *Cryptosporidium parvum* ocysts in feces, manures, and soils.** Applied and Environmental Microbiology. 1999. 65 (7): 2. 820-2.826.

SILVA, K. da. **Estimativa da variação temporal da eutrofização no baixo São Francisco a partir da utilização do índice TRIX.** 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. 72 f.

SILVA, V. M. F. **Efeito das Ações Antrópicas na Qualidade da Água da Bacia do Riacho do Silva, em Maceió-AL.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. 178 f.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 2009. Pp 35-51.

SMAYDA, T. J. The plankton of estuaries. In : KETCHUM, B. H. (Ed). **Estuaries and enclosed seas.** Amsterdam: Elsevier, 1983, p. 65-112.

SOUZA, M.F.L.; *et al.* **Distribuição de nutrientes dissolvidos e clorofila a no estuário do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil.** Atlântica, Rio Grande, v.31, n.1, p.107-121, 2009.

SOUZA, M.F.L.; *et al.* **Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil.** Estuarine Coastal and Shelf Science. v. 57, p. 843-858, 2003.

SOUZA, W. F. L. *et al.* **Impactos de barragens sobre os fluxos de materiais na interface continente-oceano.** Revista Virtual de Química. Rio de Janeiro, v. 3, n. 2. Pp. 116-128. Jun. 2011.

THOMANN, R.V.; MUELLER, J.A. Principles of Surface Water Quality Modeling and Control. Harper-Collins, New York. 1987. 644 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

VÖRÖSMARTY, C.J.; *et al.* **The potencial impact of neo-Castorization on sediment transport by the global network of rivers**. In: WALLING, D. E.; PROBST, J. L. (Eds.). *Human Impact on Erosion and Sedimentation*. IAHS Press, Wallinford, p. 261-73. 1997.

WETZEL, R.G. **Limnology**. 2nd Ed. Philadelphia, Saunders, 1983, 767 p.

## ANEXOS

## Correlação de Spearman

	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
<b>ANO</b>	VAZAO	VAZAO	VAZAO	Psubmedio	Psubmedio	Psubmedio	Pbaixo	Pbaixo	Pbaixo
<b>vazão</b>	1,000000	1,000000	1,000000	0,780057	0,697200	0,721922	0,377622	-0,279720	-0,040927
<b>CPO4</b>	0,720280	0,167832	0,482111	0,291122	-0,063382	0,286475	0,314685	0,454545	0,418533
<b>CNtotal</b>	0,384615	0,580420	0,538996	0,067182	0,507055	0,287398	0,811189	0,244755	0,444015
<b>Psubmedio</b>	0,780057	0,697200	0,721922	1,000000	1,000000	1,000000	0,074647	-0,119721	-0,025048
<b>Pbaixo</b>	0,377622	-0,279720	-0,040927	0,074647	-0,119721	-0,025048	1,000000	1,000000	1,000000

## 2008

Mês	Vazão m3/s	Carga NNH4	Carga NNO2	Carga NNO3	Carga PPO4	Carga Ntotal	Precipitação Sub-médio SF (mm)	Precipitação Baixo SF (mm)
Jan	1972	170,0044452	13,57010702	34,36723167	13,98484455	217,9417839	95	5,8
Fev	3907	243,2607922	35,21214815	25,90568167	31,27964225	304,378622	131,8	56,7
Mar	4594	399,7475943	51,11501004	79,52430728	40,72064321	530,3869116	285	198,7
Abr	4953	216,6575582	28,69560212	350,9365859	152,9451991	596,2897462	54	65,8
Mai	2021	107,3185494	23,18595641	980,6444689	57,31211161	1111,148975	0	200,7
Jun	1146	76,45736066	14,38742451	665,2474237	47,19002419	756,0922089	4,4	98,9
Jul	935	38,04238608	14,92916333	614,6253604	16,57733597	667,5969098	0	106,1
Ago	851	20,19145765	9,33880488	0,548107463	7,541676047	30,07836999	0	41,9
Set	674	20,52316654	6,506485541	275,2869934	2,311935519	302,3166455	0	21
Out	742	42,54027877	4,074554196	110,9568331	25,73771351	157,5716661	0	7,8
Nov	853	140,9249584	2,884233531	33,26482672	33,67359356	177,0740187	0	2,7
Dez	2223	59,62385916	12,19667725	44,93469442	50,34084784	116,7552308	63,1	5

2009

Mês	Vazão m3/s	Carga NNH4	Carga NNO2	Carga NNO3	Carga PPO4	Carga Ntotal	Precipitação Sub-médio SF (mm)	Precipitação Baixo SF (mm)
Jan	5393	94,61761708	15,45661836	377,2426061	16,39557182	487,3168415	12,2	16,6
Fev	5051	494,3888349	72,70424043	198,8674812	81,36215464	765,9605565	98,4	35,3
Mar	3668	148,5464249	37,13660623	1292,904069	51,72500479	1478,5871	111,2	10,1
Abr	4440	9,666424478	59,60961761	1383,909771	74,84229152	1453,185813	134,2	105,3
Mai	2634	243,9776119	76,05779803	2151,349144	327,7611324	2471,384554	9,4	343,2
Jun	1540	33,52911808	25,14683856	934,9035759	179,2470644	993,5795325	4,9	235,1
Jul	1248	8,424098394	14,97617492	395,9326245	172,8942566	419,3328978	0	128,1
Ago	985	19,94938561	21,79655094	98,63862884	13,89305824	140,3845654	2,4	151,4
Set	1020	19,99011393	15,91805369	14,43730451	24,56721542	50,34547213	0	31,3
Out	1335	36,03489815	20,7701149	16,26575264	14,3928674	73,07076569	87,6	18,7
Nov	2536	55,20789611	8,741250218	446,2638269	66,1525329	510,2129732	0	0,2
Dez	2641	122,3228162	6,438042957	781,9746023	14,24187074	910,7354615	58,5	34,5

2010

Mês	Vazão m3/s	Carga NNH4	Carga NNO2	Carga NNO3	Carga PPO4	Carga Ntotal	Precipitação Sub-médio SF (mm)	Precipitação Baixo SF (mm)
Jan	3538	103,9449433	8,236771963	370,2886596	49,06964991	482,4703749	36,6	33,2
Fev	1929	78,61111465	19,70832854	56,14955199	39,1194418	154,4689952	28,2	25,6
Mar	2607	102,1275416	127,2661128	13,0037479	31,15224218	242,3974023	26,6	10,2
Abr	2846	189,6399229	49,77974076	592,6984137	224,4116774	832,1180774	117,2	180,5
Mai	1298	40,97933762	7,061659912	89,36652371	15,9103957	137,4075212	0	75,8
Jun	1047	112,8823236	20,21020519	269,2099135	115,9631794	402,3024423	2,4	243,9
Jul	833	37,02089742	10,52685814	135,2978293	45,27971198	182,8455849	12,8	163,1
Ago	698	29,44804447	2,089446164	83,90975037	36,29710629	115,447241	0	95,4
Set	684	122,6175287	1,541955242	23,58359652	3,859077283	147,7430805	0	77,8
Out	828	18,70725108	3,02831919	26,10880175	5,869361571	47,84437202	19,4	17,6
Nov	1705	21,13644988	7,135866528	27,26266956	7,801785533	55,53498597	0	0
Dez	3118	54,0164632	4,147425019	34,83837016	40,52676027	93,00225838	155	3,3



	<b>Nitrogênio Amônio</b> $\mu\text{g L}^{-1}$ $\text{N.NH}_4^+$		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
		N(Kg/L)								
Janeiro	32,18	3,21818E-08	1972	1972309,111	0,063472388	5.484,01	31	170004,4452	170,0044452	127,9410339
Fevereiro	25,74	2,57352E-08	3907	3907264,078	0,10055423	8.687,89	28	243260,7922	243,2607922	127,9410339
Março	32,49	3,24854E-08	4594	4594327,544	0,149248654	12.895,08	31	399747,5943	399,7475943	127,9410339
Abril	16,88	1,68755E-08	4953	4953145,805	0,083587021	7.221,92	30	216657,5582	216,6575582	127,9410339
Maiο	19,83	1,98288E-08	2021	2020708,91	0,040068156	3.461,89	31	107318,5494	107,3185494	127,9410339
Junho	25,74	2,57352E-08	1146	1146190,294	0,029497439	2.548,58	30	76457,36066	76,45736066	127,9410339
Julho	15,19	1,5188E-08	935	935173,2347	0,0142034	1.227,17	31	38042,38608	38,04238608	127,9410339
Agosto	8,86	8,85966E-09	851	850893,4845	0,007538627	651,34	31	20191,45765	20,19145765	127,9410339
Setembro	11,75	1,17502E-08	674	673850,399	0,007917888	684,11	30	20523,16654	20,52316654	127,9410339
Outubro	21,39	2,1391E-08	742	742495,7823	0,015882721	1.372,27	31	42540,27877	42,54027877	127,9410339
Novembro	63,71	6,3705E-08	853	853452,5845	0,054369197	4.697,50	30	140924,9584	140,9249584	127,9410339
Dezembro	10,02	1,00159E-08	2223	2222569,876	0,022260999	1.923,35	31	59623,85916	59,62385916	127,9410339
								<b>Media anual</b>	<b>127,9410339</b>	
								<b>Carga anual</b>	<b>1535,292407</b>	

Tabela: Resultados para nitrogênio amônio no ano de 2008.

	Nitrogênio Amônio $\mu\text{g L}^{-1}$ $\text{N.NH}_4^+$		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	N(Kg/L)									
Janeiro	6,55	6,55E-09	5393	5393308,588	0,035326171	3.052,18	31	94617,61708	94,61761708	107,22127
Fevereiro	40,46	4,046E-08	5051	5050925,956	0,204360464	17.656,74	28	494388,8349	494,3888349	107,22127
Março	15,12	1,512E-08	3668	3668047,716	0,055460881	4.791,82	31	148546,4249	148,5464249	107,22127
Abril	0,84	8,4E-10	4440	4439679,085	0,00372933	322,21	30	9666,424478	9,666424478	107,22127
Mai	34,58	3,458E-08	2634	2634204,885	0,091090805	7.870,25	31	243977,6119	243,9776119	107,22127
Junho	8,40	8,4E-09	1540	1539954,351	0,012935617	1.117,64	30	33529,11808	33,52911808	107,22127
Julho	2,52	2,52E-09	1248	1248094,455	0,003145198	271,75	31	8424,098394	8,424098394	107,22127
Agosto	7,56	7,56E-09	985	985217,8988	0,007448247	643,53	31	19949,38561	19,94938561	107,22127
Setembro	7,56	7,56E-09	1020	1020136,946	0,007712235	666,34	30	19990,11393	19,99011393	107,22127
Outubro	10,08	1,008E-08	1335	1334711,279	0,01345389	1.162,42	31	36034,89815	36,03489815	107,22127
Novembro	8,40	8,4E-09	2536	2535636,028	0,021299343	1.840,26	30	55207,89611	55,20789611	107,22127
Dezembro	17,29	1,729E-08	2641	2641417,443	0,045670108	3.945,90	31	122322,8162	122,3228162	107,22127
								Media anual	107,22127	
								Carga anual	1286,65524	

Tabela: Resultados para nitrogênio amônio no ano de 2009.

	<b>Nitrogênio Amônio</b> <b><math>\mu\text{g L}^{-1}</math></b> <b><math>\text{N.NH}_4^+</math></b>		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	N(Kg/L)									
Janeiro	10,97	1,09691E-08	3538	3537991,939	0,038808596	3.353,06	31	103944,9433	103,9449433	75,92765153
Fevereiro	16,85	1,68462E-08	1929	1928900,816	0,032494674	2.807,54	28	78611,11465	78,61111465	75,92765153
Março	14,63	1,46255E-08	2607	2607099,543	0,038130056	3.294,44	31	102127,5416	102,1275416	75,92765153
Abril	25,71	2,57071E-08	2846	2846041,985	0,073163551	6.321,33	30	189639,9229	189,6399229	75,92765153
Mai	11,79	1,17859E-08	1298	1298157,936	0,015299932	1.321,91	31	40979,33762	40,97933762	75,92765153
Junho	41,61	4,16134E-08	1047	1046544,617	0,043550279	3.762,74	30	112882,3236	112,8823236	75,92765153
Julho	16,59	1,65943E-08	833	832938,6412	0,01382202	1.194,22	31	37020,89742	37,02089742	75,92765153
Agosto	15,75	1,57505E-08	698	698049,9701	0,01099464	949,94	31	29448,04447	29,44804447	75,92765153
Setembro	69,20	6,91993E-08	684	683621,8735	0,047306145	4.087,25	30	122617,5287	122,6175287	75,92765153
Outubro	8,44	8,43777E-09	828	827764,5055	0,006984487	603,46	31	18707,25108	18,70725108	75,92765153
Novembro	4,78	4,7814E-09	1705	1705460,407	0,008154495	704,55	30	21136,44988	21,13644988	75,92765153
Dezembro	6,47	6,46896E-09	3118	3117571,254	0,020167437	1.742,47	31	54016,4632	54,0164632	75,92765153
								Media anual	75,92765153	
								Carga anual	911,1318184	

Tabela: resultados para nitrogênio amônio no Rio São Francisco para o ano hidrológico de 2010.

	Nitrogênio Nitrito $\mu\text{g L}^{-1}$ $\text{N.NO}_2^-$		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	N(Kg/L)									
Janeiro	2,57	2,56882E-09	1972	1972309,111	0,005066498	437,75	31	13570,10702	13,57010702	18,00801391
Fevereiro	3,73	3,72519E-09	3907	3907264,078	0,014555286	1.257,58	28	35212,14815	35,21214815	18,00801391
Março	4,15	4,15385E-09	4594	4594327,544	0,019084158	1.648,87	31	51115,01004	51,11501004	18,00801391
Abril	2,24	2,23511E-09	4953	4953145,805	0,011070834	956,52	30	28695,60212	28,69560212	18,00801391
Maio	4,28	4,28396E-09	2021	2020708,91	0,008656644	747,93	31	23185,95641	23,18595641	18,00801391
Junho	4,84	4,84274E-09	1146	1146190,294	0,005550704	479,58	30	14387,42451	14,38742451	18,00801391
Julho	5,96	5,9603E-09	935	935173,2347	0,005573911	481,59	31	14929,16333	14,92916333	18,00801391
Agosto	4,10	4,0977E-09	851	850893,4845	0,00348671	301,25	31	9338,80488	9,33880488	18,00801391
Setembro	3,73	3,72519E-09	674	673850,399	0,002510218	216,88	30	6506,485541	6,506485541	18,00801391
Outubro	2,05	2,04885E-09	742	742495,7823	0,001521264	131,44	31	4074,554196	4,074554196	18,00801391
Novembro	1,30	1,30382E-09	853	853452,5845	0,001112744	96,14	30	2884,233531	2,884233531	18,00801391
Dezembro	2,05	2,04885E-09	2223	2222569,876	0,004553718	393,44	31	12196,67725	12,19667725	
								Media anual	18,00801391	
								Carga anual	216,096167	

Tabela: Resultados para nitrogênio nitrito no ano de 2008.

	Nitrogênio Nitrito $\mu\text{g L}^{-1}$ $\text{N.NO}_2^-$		Vazão		Fluxo		Dias do Mês	Fluxo		Média Anual (Ton)
	N(Kg/L)		(m3/s)	Vazão (L/S)	Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario		Fluxo mensal (Kg)	Mensal (toneladas)	
Janeiro	1,07	1,07E-09	5393	5393308,588	0,00577084	498,60	31	15456,61836	15,45661836	31,22932557
Fevereiro	5,95	5,95E-09	5051	5050925,956	0,030053009	2.596,58	28	72704,24043	72,70424043	31,22932557
Março	3,78	3,78E-09	3668	3668047,716	0,01386522	1.197,96	31	37136,60623	37,13660623	31,22932557
Abril	5,18	5,18E-09	4440	4439679,085	0,022997538	1.986,99	30	59609,61761	59,60961761	31,22932557
Mai	10,78	1,078E-08	2634	2634204,885	0,028396729	2.453,48	31	76057,79803	76,05779803	31,22932557
Junho	6,30	6,3E-09	1540	1539954,351	0,009701712	838,23	30	25146,83856	25,14683856	31,22932557
Julho	4,48	4,48E-09	1248	1248094,455	0,005591463	483,10	31	14976,17492	14,97617492	31,22932557
Agosto	8,26	8,26E-09	985	985217,8988	0,0081379	703,11	31	21796,55094	21,79655094	31,22932557
Setembro	6,02	6,02E-09	1020	1020136,946	0,006141224	530,60	30	15918,05369	15,91805369	31,22932557
Outubro	5,81	5,81E-09	1335	1334711,279	0,007754673	670,00	31	20770,1149	20,7701149	31,22932557
Novembro	1,33	1,33E-09	2536	2535636,028	0,003372396	291,38	30	8741,250218	8,741250218	31,22932557
Dezembro	0,91	9,1E-10	2641	2641417,443	0,00240369	207,68	31	6438,042957	6,438042957	31,22932557
								Media anual	31,22932557	
								Carga anual	374,7519069	

Tabela: Resultados para nitrogênio nitrito no ano de 2009.

	<b>Nitrogênio Nitrito</b> <b>µg L<sup>-1</sup></b> <b>N.NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	N(Kg/L)									
Janeiro	0,87	8,6921E-10	3538	3537991,939	0,003075258	265,70	31	8236,771963	8,236771963	21,72772413
Fevereiro	4,22	4,22346E-09	1929	1928900,816	0,008146631	703,87	28	19708,32854	19,70832854	21,72772413
Março	18,23	1,82255E-08	2607	2607099,543	0,047515723	4.105,36	31	127266,1128	127,2661128	21,72772413
Abril	6,75	6,74802E-09	2846	2846041,985	0,019205147	1.659,32	30	49779,74076	49,77974076	21,72772413
Maio	2,03	2,03097E-09	1298	1298157,936	0,002636522	227,80	31	7061,659912	7,061659912	21,72772413
Junho	7,45	7,45037E-09	1047	1046544,617	0,007797147	673,67	30	20210,20519	20,21020519	21,72772413
Julho	4,72	4,71857E-09	833	832938,6412	0,003930279	339,58	31	10526,85814	10,52685814	21,72772413
Agosto	1,12	1,11756E-09	698	698049,9701	0,00078011	67,40	31	2089,446164	2,089446164	21,72772413
Setembro	0,87	8,70203E-10	684	683621,8735	0,00059489	51,40	30	1541,955242	1,541955242	21,72772413
Outubro	1,37	1,3659E-09	828	827764,5055	0,001130645	97,69	31	3028,31919	3,02831919	21,72772413
Novembro	1,61	1,61425E-09	1705	1705460,407	0,002753035	237,86	30	7135,866528	7,135866528	21,72772413
Dezembro	0,50	4,96691E-10	3118	3117571,254	0,001548471	133,79	31	4147,425019	4,147425019	21,72772413
								Media anual	21,72772413	
								Carga anual	260,7326895	

Tabela: Resultados para nitrogênio nitrito no ano de 2010.

	Nitrogênio Nitrato $\mu\text{g L}^{-1}$ N.NO <sub>3</sub> .		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	N(Kg/L)									
Janeiro	6,51	6,5057E-09	1972	1972309,111	0,012831254	1.108,62	31	34367,23167	34,36723167	268,0202096
Fevereiro	2,74	2,74063E-09	3907	3907264,078	0,010708367	925,20	28	25905,68167	25,90568167	268,0202096
Março	6,46	6,46253E-09	4594	4594327,544	0,029690975	2.565,30	31	79524,30728	79,52430728	268,0202096
Abril	27,33	2,73346E-08	4953	4953145,805	0,135392201	11.697,89	30	350936,5859	350,9365859	268,0202096
Maiο	181,19	1,81189E-07	2021	2020708,91	0,366130701	31.633,69	31	980644,4689	980,6444689	268,0202096
Junho	223,92	2,23919E-07	1146	1146190,294	0,256654099	22.174,91	30	665247,4237	665,2474237	268,0202096
Julho	245,38	2,45382E-07	935	935173,2347	0,229474821	19.826,62	31	614625,3604	614,6253604	268,0202096
Agosto	0,24	2,405E-10	851	850893,4845	0,00020464	17,68	31	548,1074627	0,548107463	268,0202096
Setembro	157,61	1,57611E-07	674	673850,399	0,106206402	9.176,23	30	275286,9934	275,2869934	268,0202096
Outubro	55,79	5,57936E-08	742	742495,7823	0,041426536	3.579,25	31	110956,8331	110,9568331	268,0202096
Novembro	15,04	1,50373E-08	853	853452,5845	0,012833652	1.108,83	30	33264,82672	33,26482672	268,0202096
Dezembro	7,55	7,54833E-09	2223	2222569,876	0,016776693	1.449,51	31	44934,69442	44,93469442	268,0202096
								Media anual	268,0202096	
								Carga anual	3216,242515	

Tabela: Resultados para nitrogênio nitrato no ano de 2008.

	Nitrogênio Nitrato $\mu\text{g L}^{-1}$ N.NO <sub>3</sub> .		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	N(Kg/L)									
Janeiro	26,12	2,6115E-08	5393	5393308,588	0,140846254	12.169,12	31	377242,6061	377,2426061	674,3907822
Fevereiro	16,28	1,6275E-08	5051	5050925,956	0,08220382	7.102,41	28	198867,4812	198,8674812	674,3907822
Março	131,60	1,316E-07	3668	3668047,716	0,482715079	41.706,58	31	1292904,069	1292,904069	674,3907822
Abril	120,26	1,2026E-07	4440	4439679,085	0,533915807	46.130,33	30	1383909,771	1383,909771	674,3907822
Maiο	304,92	3,0492E-07	2634	2634204,885	0,803221753	69.398,36	31	2151349,144	2151,349144	674,3907822
Junho	234,22	2,3422E-07	1540	1539954,351	0,360688108	31.163,45	30	934903,5759	934,9035759	674,3907822
Julho	118,44	1,1844E-07	1248	1248094,455	0,147824307	12.772,02	31	395932,6245	395,9326245	674,3907822
Agosto	37,38	3,738E-08	985	985217,8988	0,036827445	3.181,89	31	98638,62884	98,63862884	674,3907822
Setembro	5,46	5,46E-09	1020	1020136,946	0,005569948	481,24	30	14437,30451	14,43730451	674,3907822
Outubro	4,55	4,55E-09	1335	1334711,279	0,006072936	524,70	31	16265,75264	16,26575264	674,3907822
Novembro	67,90	6,79E-08	2536	2535636,028	0,172169686	14.875,46	30	446263,8269	446,2638269	674,3907822
Dezembro	110,53	1,1053E-07	2641	2641417,443	0,29195587	25.224,99	31	781974,6023	781,9746023	674,3907822
								Media anual	674,3907822	
								Carga anual	8092,689387	

Tabela: Resultados para nitrogênio nitrato no ano de 2009.



	<b>Nitrogênio Nitrato</b> <b>µg L<sup>-1</sup></b> <b>N.NO<sub>3</sub>.</b>		Vazão		Fluxo	Fluxo	Dias	Fluxo	Fluxo	Média Anual
	N(Kg/L)		(m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Momentaneo (KG/S)	diario	do Mês	mensual (Kg)	Mensal (toneladas)	(Ton)
Janeiro	39,08	3,90758E-08	3538	3537991,939	0,138249948	11.944,80	31	370288,6596	370,2886596	143,4764857
Fevereiro	12,03	1,20327E-08	1929	1928900,816	0,023209967	2.005,34	28	56149,55199	56,14955199	143,4764857
Março	1,86	1,86224E-09	2607	2607099,543	0,004855043	419,48	31	13003,7479	13,0037479	143,4764857
Abril	80,34	8,03447E-08	2846	2846041,985	0,228664511	19.756,61	30	592698,4137	592,6984137	143,4764857
Maiο	25,70	2,57023E-08	1298	1298157,936	0,033365638	2.882,79	31	89366,52371	89,36652371	143,4764857
Junho	99,24	9,92426E-08	1047	1046544,617	0,103861849	8.973,66	30	269209,9135	269,2099135	143,4764857
Julho	60,65	6,0646E-08	833	832938,6412	0,050514423	4.364,45	31	135297,8293	135,2978293	143,4764857
Agosto	44,88	4,48798E-08	698	698049,9701	0,031328312	2.706,77	31	83909,75037	83,90975037	143,4764857
Setembro	13,31	1,33094E-08	684	683621,8735	0,00909861	786,12	30	23583,59652	23,58359652	143,4764857
Outubro	11,78	1,17762E-08	828	827764,5055	0,00974791	842,22	31	26108,80175	26,10880175	143,4764857
Novembro	6,17	6,16725E-09	1705	1705460,407	0,010518005	908,76	30	27262,66956	27,26266956	143,4764857
Dezembro	4,17	4,17221E-09	3118	3117571,254	0,013007157	1.123,82	31	34838,37016	34,83837016	143,4764857
								Media anual	143,4764857	
								Carga anual	1721,717828	

Tabela: Resultados para nitrogênio nitrato no ano de 2010.

	<b>Fosfato Orto</b> <b><math>\mu\text{g L}^{-1}</math></b> <b><math>\text{P.P.O}_4^3</math></b>		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	P(Kg/L)									
Janeiro	2,65	2,64732E-09	1972	1972309,111	0,0052221343	451,12	31	13984,84455	13,98484455	39,96796395
Fevereiro	3,31	3,30916E-09	3907	3907264,078	0,012929746	1.117,13	28	31279,64225	31,27964225	39,96796395
Março	3,31	3,30916E-09	4594	4594327,544	0,015203346	1.313,57	31	40720,64321	40,72064321	39,96796395
Abril	11,91	1,1913E-08	4953	4953145,805	0,059006635	5.098,17	30	152945,1991	152,9451991	39,96796395
Maiο	10,59	1,05893E-08	2021	2020708,91	0,021397891	1.848,78	31	57312,11161	57,31211161	39,96796395
Junho	15,88	1,58839E-08	1146	1146190,294	0,018206028	1.573,00	30	47190,02419	47,19002419	39,96796395
Julho	6,62	6,61831E-09	935	935173,2347	0,006189268	534,75	31	16577,33597	16,57733597	39,96796395
Agosto	3,31	3,30916E-09	851	850893,4845	0,002815739	243,28	31	7541,676047	7,541676047	39,96796395
Setembro	1,32	1,32366E-09	674	673850,399	0,00089195	77,06	30	2311,935519	2,311935519	39,96796395
Outubro	12,94	1,2942E-08	742	742495,7823	0,009609361	830,25	31	25737,71351	25,73771351	39,96796395
Novembro	15,22	1,52221E-08	853	853452,5845	0,012991356	1.122,45	30	33673,59356	33,67359356	39,96796395
Dezembro	8,46	8,45648E-09	2223	2222569,876	0,018795119	1.623,90	31	50340,84784	50,34084784	39,96796395
								<b>Media anual</b>	<b>39,96796395</b>	
								<b>Carga anual</b>	<b>479,6155674</b>	

Tabela: Resultados para fósforo ortofosfato em 2008.

	Fosfato Orto $\mu\text{g L}^{-1}$ $\text{P.P.O}_4^3$		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	P(Kg/L)									
Janeiro	1,14	1,135E-09	5393	5393308,588	0,006121405	528,89	31	16395,57182	16,39557182	86,45625174
Fevereiro	6,66	6,65855E-09	5051	5050925,956	0,033631843	2.905,79	28	81362,15464	81,36215464	86,45625174
Março	5,26	5,2649E-09	3668	3668047,716	0,019311904	1.668,55	31	51725,00479	51,72500479	86,45625174
Abril	6,50	6,5037E-09	4440	4439679,085	0,028874341	2.494,74	30	74842,29152	74,84229152	86,45625174
Maiο	46,46	4,6455E-08	2634	2634204,885	0,122371988	10.572,94	31	327761,1324	327,7611324	86,45625174
Junho	44,91	4,49065E-08	1540	1539954,351	0,06915396	5.974,90	30	179247,0644	179,2470644	86,45625174
Julho	51,72	5,17199E-08	1248	1248094,455	0,06455132	5.577,23	31	172894,2566	172,8942566	86,45625174
Agosto	5,26	5,2649E-09	985	985217,8988	0,005187074	448,16	31	13893,05824	13,89305824	86,45625174
Setembro	9,29	9,291E-09	1020	1020136,946	0,009478092	818,91	30	24567,21542	24,56721542	86,45625174
Outubro	4,03	4,0261E-09	1335	1334711,279	0,005373681	464,29	31	14392,8674	14,3928674	86,45625174
Novembro	10,07	1,00653E-08	2536	2535636,028	0,025521811	2.205,08	30	66152,5329	66,1525329	86,45625174
Dezembro	2,01	2,01305E-09	2641	2641417,443	0,005317305	459,42	31	14241,87074	14,24187074	86,45625174
								Media anual	86,45625174	
								Carga anual	1037,475021	

Tabela: Resultados para fósforo ortofosfato em 2009.

	Fosfato Orto $\mu\text{g L}^{-1}$ $\text{P.P.O}_4^3$		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão (L/S)	Fluxo Momentaneo (KG/S)	Fluxo diario	Dias do Mês	Fluxo mensal (Kg)	Fluxo Mensal (toneladas)	Média Anual (Ton)
	P(Kg/L)									
Janeiro	5,18	5,17822E-09	3538	3537991,939	0,018320508	1.582,89	31	49069,64991	49,06964991	51,27169911
Fevereiro	8,38	8,38322E-09	1929	1928900,816	0,016170404	1.397,12	28	39119,4418	39,1194418	51,27169911
Março	4,46	4,46125E-09	2607	2607099,543	0,011630915	1.004,91	31	31152,24218	31,15224218	51,27169911
Abril	30,42	3,04207E-08	2846	2846041,985	0,086578579	7.480,39	30	224411,6774	224,4116774	51,27169911
Maio	4,58	4,57592E-09	1298	1298157,936	0,005940261	513,24	31	15910,3957	15,9103957	51,27169911
Junho	42,75	4,27491E-08	1047	1046544,617	0,044738881	3.865,44	30	115963,1794	115,9631794	51,27169911
Julho	20,30	2,02962E-08	833	832938,6412	0,016905508	1.460,64	31	45279,71198	45,27971198	51,27169911
Agosto	19,41	1,94138E-08	698	698049,9701	0,013551787	1.170,87	31	36297,10629	36,29710629	51,27169911
Setembro	2,18	2,17787E-09	684	683621,8735	0,001488842	128,64	30	3859,077283	3,859077283	51,27169911
Outubro	2,65	2,64733E-09	828	827764,5055	0,002191369	189,33	31	5869,361571	5,869361571	51,27169911
Novembro	1,76	1,76489E-09	1705	1705460,407	0,003009948	260,06	30	7801,785533	7,801785533	51,27169911
Dezembro	4,85	4,85344E-09	3118	3117571,254	0,015130959	1.307,31	31	40526,76027	40,52676027	51,27169911
								Media anual	51,27169911	
								Carga anual	615,2603893	

Tabela: Resultados para fósforo ortofosfato em 2010.