

ANÁLISE DE ASPECTOS QUALITATIVOS DA ÁGUA VINCULADOS AO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IGARAPÉ-AÇU, CAPANEMA-PA

Antonio Kledson Leal Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA),
Campus Capanema-PA

Pedro Moreira de Sousa Junior

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA),
Campus Capanema-PA

Marco Antonio Ferreira Gomes

Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP

Sérgio Gomes Tôsto

Embrapa Territorial, Campinas-SP

Carlos Fernando Quartaroli

Embrapa Territorial, Campinas-SP

Anderson Soares Pereira

Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP

Lauro Charlet Pereira

Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP

Orivan Maria Marques Teixeira

Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA

RESUMO

A área estudada foi a Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu, município de Capanema-PA, situada na Região Nordeste do Estado do Pará, que é a área de mais antiga ocupação da Amazônia. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou analisar alguns aspectos qualitativos da água (compostos de Nitrogênio e Fósforo) das águas do Rio Igarapé-Açu, em algumas datas dos anos de 2020 e 2021, como forma de contribuir com a avaliação da influência antrópica na qualidade da água, especificamente correlacionando as concentrações desses elementos ao mapeamento do uso e cobertura da terra. Os resultados das concentrações observadas, tanto do N-Total quanto do Nitrato, podem ser oriundos de processos de decomposição da matéria orgânica e fixação biológica; lixiviação em áreas com fossas sépticas e depósitos de lixo e esterco animal; e o uso intensivo de fertilizantes minerais e até orgânicos. No caso dos compostos de Fósforo Total, Fosfato e Ortofosfato, as ocorrências e concentrações observadas estão relacionadas às fontes de poluição difusas, somada às características ambientais que expõem a bacia a elevadas taxas de perdas de solos, representando o mais importante mecanismo possível de aporte de Fósforo para os cursos d'água, identificado no presente estudo. As concentrações dos compostos de Nitrogênio e Fósforo mostraram que a água do Rio Igarapé-Açu estava imprópria para consumo humano, conforme a legislação (Resolução do CONAMA 357/05), exigindo uma mudança considerável na gestão e manejo das atividades na bacia em questão.

Palavras-chave: recursos hídricos; contaminação da água; agroecossistemas; fontes de poluição; região nordeste do estado do Pará.

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos, tanto sob o aspecto da qualidade quanto da quantidade, tem sido foco de grandes debates mundo afora, principalmente porque interfere diretamente na vida das populações, principalmente as mais carentes e vulneráveis, frente às situações adversas, como a contaminação e a exposição às doenças. Na Amazônia Legal, encontra-se uma interessante contradição entre quantidade e qualidade da água, uma vez que a situação aparentemente sem muitas evidências de impacto negativo em relação aos aspectos quantitativos dos recursos hídricos nessa região não expõe os graves problemas do acesso à água potável por diversas comunidades rurais e ribeirinhas, como relatam os trabalhos de Giatti e Cutolo (2012) e Monni, Iorio e Realini *et al.* (2018).

A Região Nordeste do Estado do Pará, onde está inserida a Região de Integração do Rio Caeté, da qual faz parte o município Capanema, é a de mais antiga ocupação da Amazônia, onde está localizada a maior densidade populacional do estado (CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017). Trata-se da região amazônica mais explorada ambientalmente através do desmatamento, mineração, perda de potencial produtivo dos solos e contaminação hídrica (PEREIRA *et al.*, 2010; COSTA; SOARES, 2021), o que tem contribuído para a geração de problemas relacionados à qualidade e quantidade de água tanto para as zonas rurais quanto para as urbanas. Especificamente em relação às mudanças de uso e cobertura da terra, os principais impactos estão ligados à disponibilidade, qualidade, alterações hidroquímicas, agrotóxicos, assoreamento e prejuízos para a água nos seus múltiplos usos (FIGUEIREDO *et al.*, 2010; BARROSO *et al.*, 2018; GOUVEIA *et al.*, 2022).

O presente trabalho é fruto do desenvolvimento do Projeto “Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto da agricultura familiar amazônica”, gerido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMPRAPA), cujo objetivo foi quantificar e valorar serviços ecossistêmicos e ampliar a rede de beneficiários de conhecimentos e de experiências consolidadas sobre serviços ecossistêmicos e ambientais no Bioma Amazônico, incluindo grupos de interesse como, agricultores, mulheres rurais, jovens rurais, técnicos e tomadores de decisões. Especificamente, o trabalho esteve ligado ao Plano

de Ação denominado "Quantificação e valoração de serviços de provisão de água em quantidade e qualidade", cujo objetivo foi realizar a quantificação e a valoração dos serviços de provisão de água em relação à quantidade e/ou qualidade em locais estratégicos para difusão de novas experiências de PSA no Bioma Amazônico, tendo enfoque nos serviços providos pela cobertura do solo na produção de água em quantidade e qualidade.

Especificamente, as alterações na concentração de compostos nitrogenados e fosfatados têm sido evidenciadas como os principais indicadores de contaminação da água pelas atividades agropecuárias. O aumento da concentração de fósforo nos corpos hídricos, por exemplo, está mais diretamente ligado ao processo de eutrofização, que também está relacionada ao aumento de nitrogênio, sendo necessário citar, no caso deste último elemento, impactos sobre a saúde humana e a ligação com a presença de moléculas sintéticas de defensivos agrícolas que possivelmente possuem comportamento semelhante ao do nitrato, de acordo com as considerações de Resende (2002).

Os processos de transporte desses compostos, tais como o nitrato e o fosfato, estão ligados diretamente às alterações no escoamento superficial, com consequente aumento da perda de solo. Assim, mapear o uso e cobertura da terra e analisar essa informação conjuntamente com os resultados de qualidade da água é importante para a compreensão adequada da dinâmica de uma bacia hidrográfica, conforme demonstrado por Prado *et al.* (2021). Os compostos de Nitrogênio e Fósforo, então, funcionam como indicadores de serviços ambientais fornecidos por agroecossistemas e, consequentemente, servem como diretrizes para a adoção de medidas de prevenção e mitigação dos impactos negativos sobre os recursos hídricos (MARTINEZ *et al.*, 2017).

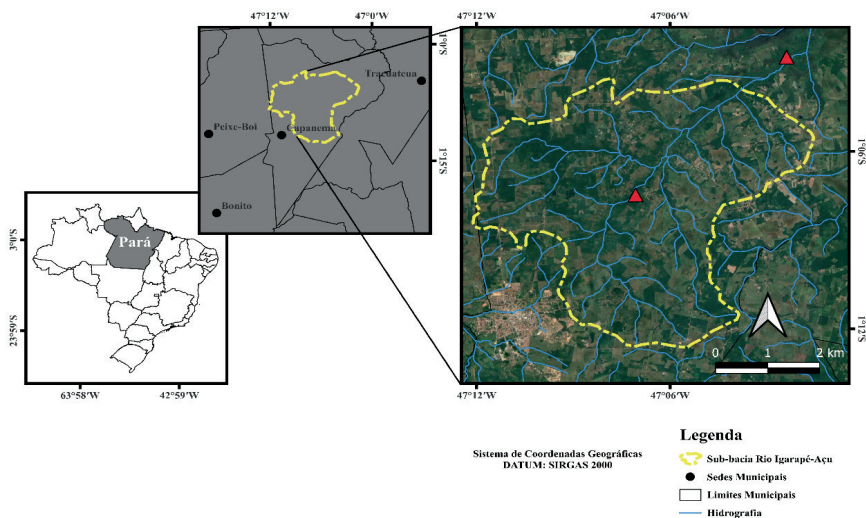
Frente aos desafios da gestão sustentável dos recursos naturais e do trabalho de fortalecimento da agricultura familiar na Amazônia, seja em assentamentos rurais ou pequenas propriedades convencionais em geral, colaborando com a geração de dados sobre qualidade ambiental aos responsáveis pela geração de políticas públicas, o presente trabalho objetivou quantificar compostos de Nitrogênio e Fósforo a montante e a jusante do Rio Igarapé-Açu, município de Capanema-PA, como forma de contribuir com a avaliação da qualidade da água nesta bacia hidrográfica, correlacionando as concentrações desses elementos ao uso e cobertura da terra.

MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu, afluente do Rio Quatipuru, localiza-se na porção nordeste do município de Capanema/PA, mais precisamente entre as coordenadas geográficas: 1° 02' 00" e 1° 12' 00" de Latitude Sul e 47° 02' 00" e 47°12'00" de Longitude Oeste, possuindo a sua área total de estudo aproximadamente 19641,907 ha, com abrangência da Comunidade Santa Rosa até a Comunidade Califórnia. Tem como principais afluentes os Igarapés Braço-Grande e Malacacheta, mais próximos à nascente (Figura 1). O Rio Igarapé-Açu é também conhecido como Alagado do Segredo ou Vale Santa Helena e recebe uma série de cursos menores. Ao se juntar com o Igarapé Vale Basílio, ao norte, onde limita Capanema com o município de Primavera, forma-se então o Rio Quatipuru (FAPESPA, 2016).

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu.



O Município de Capanema apresenta o clima do tipo Am, de acordo com a classificação de Köppen, que se traduz por um clima quente e úmido, dividido em duas estações: uma mais chuvosa, entre os meses de dezembro e maio,

e outra menos chuvosa, entre os meses de junho e novembro. A precipitação pluviométrica média está em torno de 2.200 mm anuais. A temperatura máxima varia entre 29 °C e 31 °C, sendo que a temperatura média fica em torno de 26 °C. A umidade relativa do ar se apresenta entre 78% e 93% (FAPESPA, 2016).

A cobertura nativa é representada por floresta secundária com espécies de porte médio, quase sempre às margens do Igarapé-Açú e seus afluentes. Destacam-se a embaúba, palmeiras de vários tipos, entre elas o açazeiro e o buriti, e outras plantas de áreas úmidas. De fato, toda a cobertura vegetal primitiva de Floresta Densa dos baixos platôs Pará/Maranhão foi quase que totalmente substituída pela Floresta Secundária ou Capoeira, devido aos desmatamentos para plantio de espécies agrícolas de subsistência e por campos artificiais destinados à pecuária de leite e de corte. Restam íntegras, ainda, as Florestas Ciliares e de Várzea que ocupam as margens dos rios e trechos sob influência de inundação periódica. Já as áreas antropizadas apresentam uma diversificação, variando muito de uma propriedade para outra. Entre elas, destacam-se: pastagem com palmeira tipo Indaiá, pastagem limpa, pastagem suja, plantio de pimenta do reino, hortaliças e mandioca, além de áreas cultivadas com açazeiro.

Coleta e análise de aspectos qualitativos de água

As campanhas amostrais ocorreram em três períodos, sendo a primeira realizada em 10/2020 (período seco), a segunda em 03/2021 (período chuvoso) e a terceira em 10/2021 (período seco). Foram selecionados dois (2) pontos de coleta de água. O ponto a montante, localizado no afluente Igarapé Malacacheta (P1), possui as coordenadas 01°07' 28.15" S e 47° 07' 4.362" O e se situa a oeste do Povoado de Tauarí. O segundo ponto de coleta, possui as coordenadas 01°02' 48.543" S e 47°02' 23.418" O, e situa-se na Comunidade Califórnia (P2), de acordo com a Figura 1. Os procedimentos de coleta de água seguiram conforme descrito por Parron, Muniz e Pereira (2011) e o armazenamento seguiu a orientação técnica da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2013). As amostras, então, foram direcionadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, onde foram analisados os parâmetros Nitrogênio Total (N-Total), Nitrato, Fósforo Total (P-Total), Fosfato e Ortofosfato pelo Método

Colorimétrico, sugerida pelo manual da American Public Health Association (BAIRD; BRIDGEWATER, 2017).

Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra

O mapa de uso e cobertura da terra teve suas classes baseadas nos pontos de referência com uso e cobertura conhecidos dentro da própria unidade. Para as unidades sem pontos em seu interior, usou-se como referência pontos localizados em outras unidades com aspectos semelhantes nas imagens de satélite ou atribuiu-se a classe com base apenas na interpretação visual das imagens disponíveis. O uso e cobertura da terra dos pontos de referência foram obtidos durante visitas à área no período de 07/11/2019 a 16/11/2019. Foram usadas imagens pancromáticas do satélite EROS (junho de 2019), imagens pancromáticas e de bandas multiespectrais do satélite CBERS 4A (maio, junho e agosto de 2020) e as imagens de alta resolução espacial disponíveis nas bases on-line Google Satellite e Google Earth. A cobertura da área de estudo pela base do Google Sattelite é constituída por um mosaico de recortes de imagens dos anos de 2020, 2019, 2018 e 2017 acessadas por meio do plugin *QuickMapServices* instalado no software QGIS.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aspectos de qualidade da água: compostos nitrogenados e fosfatados

As análises de água para a caracterização das concentrações dos compostos de Nitrogênio (N) e Fósforo (P), estudadas no presente trabalho, apontaram para uma representativa repetição de valores acima dos limites máximos previstos pela Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) para rios de Classe 2 (Tabela 1), levando-se em consideração os períodos chuvoso e seco em cada ponto de coleta. Este comportamento só não se repetiu apenas para o Ortofosfato, que obteve apenas um valor acima do limite máximo previsto pela legislação nesse arranjo estudado.

Tabela 1 - Valores médios de N-Total, Nitrato, P-Total, Fosfato e Ortofosfato em mg.L-1 analisados nas águas da Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu nos anos de 2020 (Período seco) e 2021 (Períodos seco e chuvoso) em dois pontos (P1 e P2), Capanema-PA.

		N-Total	Nitrato	P-Total	Fosfato	Fosfato
PERÍODO CHUVOSO	Montante (P1)	7.87	34.86	0.17	0.12	0.04
	Jusante (P2)	7.79	34.21	1.99	1.33	0.44
PERÍODO SECO	Montante (P1)	2.13	9.44	0.36	0.24	0.08
	Jusante (P2)	2.83	12.51	0.03	0.02	0.01
Valores Referência ¹		3.70	10.00	0.025 ²	0.05	0.10

¹ Resolução do CONAMA nº 357/05, considerando água doce de Classe 2.

² Considerando ambiente lótico.

O N-Total apresentou concentração bem superior ao limite máximo previsto pela legislação apenas no período chuvoso, quando comparado ao período seco. Os resultados das concentrações observadas, tanto do N-Total quanto do Nitrato, podem ser oriundos de processos de decomposição da matéria orgânica, fixação biológica, lixiviação em áreas com fossas sépticas e depósitos de lixo e esterco animal, assim como pelo uso intensivo de fertilizantes minerais e até orgânicos (RESENDE, 2002). Na prática, existem associações desses processos, podendo predominar um deles em relação aos demais.

Os valores elevados de Nitrato, em ambos os períodos e pontos de coleta, demonstram que há aportes antrópicos de compostos nitrogenados na bacia, que aliados às características físicas da bacia, em sua predominância com relevo plano a suavemente ondulado e de formato mais arredondada, permitem a presença desta fração mais avançada do ciclo biogeoquímico do Nitrogênio. No estudo de Pontes, Marques e Marques (2012), a alta contribuição de esgoto doméstico e industrial, afeta a bacia com resultado mais elevado de N-Total em relação ao Nitrato, demonstrando a maior presença de frações intermediárias (orgânicas, de nitrito e de amônia). Essa discussão também se aplica no caso da Bacia do Rio Igarapé -Açu, exceto a contribuição industrial, uma vez que valores elevados de N-Total também foram identificados, indicando a contaminação por esgoto doméstico e, possivelmente, pelo chorume gerado em área de lixão a céu aberto localizado na bacia.

Observou-se que entre os pontos P1 e P2 em ambos os períodos sazonais, não se identificou diferença considerável entre as concentrações dos compostos nitrogenados, conforme Tabela 1, com a exceção do Nitrato no Período Seco. A expectativa seria que em P2, a jusante, apresentasse valores

mais elevados dos compostos em questão devido à presença de igapós (IBGE, 2010), que são ambientes com processo intensivos de acúmulo e decomposição de matéria orgânica. Porém, há de se considerar que o ponto a montante está mais susceptível a contaminação por esgotos domésticos, devido a maior proximidade a algumas comunidades e que está situado em um ecossistema de várzea, que também acumula água e matéria orgânica. Assim, há um possível balanço da influência das condições ambientais e antrópicas em ambos os pontos de coleta.

Em relação às concentrações de P-Total, Fósforo e Ortofosfato, durante os períodos seco e chuvoso, identificou-se que os valores também excederam os limites máximos aceitáveis previstos na Resolução do CONAMA 357/05. O Ortofosfato, especificamente não apresentou alteração em três das possibilidades de análise, no caso o período seco a jusante, bem como nos períodos chuvoso e seco a montante, estando sua concentração dentro do limite da normativa (Tabela 1). É importante o entendimento de que o Ortofosfato é um indicador do excesso de fósforo nas águas, sendo a forma que o fósforo está mais disponível para o uso pelas plantas (INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998) e, portanto, imediatamente atua como fertilizante ao ser lançado em corpos hídricos.

A concentração de P-Total, apresentou valores acima dos limites da legislação em ambos os pontos e períodos de coleta, tendo maior valor identificado a jusante, quase 80 vezes o limite da legislação (Tabela 1). Especificamente no ponto de coleta a montante, os valores de Fósforo Total, que foram de cerca de sete vezes superiores à legislação no período chuvoso, corroboram com a hipótese de impacto por esgoto doméstico associado ao impacto da dinâmica do uso e cobertura da terra.

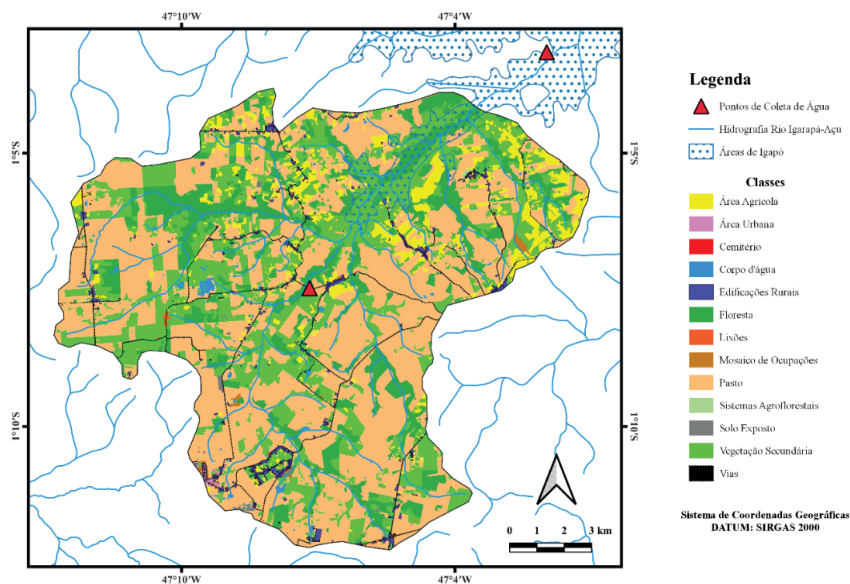
A origem dessas concentrações de compostos de Fósforo no Rio Igaraapé-Açu possivelmente tem uma forte ligação com as fontes de poluição difusas, somando-se às características ambientais que expõe a bacia à altas taxas de perdas de solos. Adicionalmente, a bacia possui forte presença do uso agropecuário, que caracteristicamente depende da aplicação de fertilizantes, com o agravante da adoção de técnicas de manejo e preparo de área que facilitam a erosão química nutricional agrícola, como o corte e queima de vegetação secundária, a gradagem e o uso do fogo para renovação de pastagens.

Dessa forma, compreende-se que as características do solo da região em estudo combinadas com práticas agrícolas inadequadas e com a destinação sem controle de esgotos domésticos são os fatores mais importantes para explicar os resultados das concentrações dos compostos de Fósforo na água. De acordo com Nascimento *et al.* (2020), é importante ressaltar que em solos intemperizados e ácidos ($\text{pH} < 5$), como é o caso do Latossolo Amarelo Distrófico, que representa 95% da Bacia do Rio Igarapé-Açu, o ferro e o alumínio se tornam mais disponíveis. Essa condição promove a reação do ferro e do alumínio com o Fósforo e a consequente formação de precipitados insolúveis, contribuindo para a fixação do Fósforo no solo (INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998), o que explica que a contaminação de águas subterrâneas por Fósforo, via processos de lixiviação, é extremamente baixa (RESENDE, 2002). Este aspecto técnico evidencia que os processos de escoamento superficial e de transporte de sedimentos podem ser os principais responsáveis pela contaminação das águas superficiais por compostos de Fósforo na bacia em estudo.

Mapeamento do uso e cobertura da terra e suas implicações sobre a qualidade da água

A Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu apresentou em seu mapeamento 13 classes de uso e cobertura da terra, predominando as áreas de Pastagem (48,3 %), seguida pela Vegetação Secundária (25,7 %), Floresta (15,4 %) e Agricultura (6,9 %) (Figura 2 e Tabela 2). É importante ressaltar a baixíssima presença de áreas agrícolas (culturas anuais e perenes) no levantamento de uso e cobertura da terra, demonstrando que a atividade de pastagem é a base agropecuária da bacia, mesmo que se leve em consideração as áreas de vegetação secundária, as quais se encontrem em estágio de pousio.

Figura 2 - Mapa de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu, Capanema-PA.



Segundo dados de Barbosa et. al (2018), as microbacias sob influência de pastagens apresentaram menores concentrações de Nitrogênio na forma de Nitrato ($-NO_3$). Isso é corroborado por Figueiredo *et al.* (2010), o qual identificou essa correlação negativa entre locais com maior predominância de pastagem e menores concentrações de Nitrato, apontando também um aumento da concentração de Nitrato em áreas de avanço da agricultura. O trabalho de Gouveia et. al (2022), também identificou baixas concentrações de Nitrato na Bacia Rio Uberabinha, em Minas Gerais, em trechos com maior ocupação de pastagens. Na bacia hidrográfica em estudo, a baixa representatividade de áreas agrícolas, especialmente nas proximidades dos dois pontos de coleta, pode refletir em baixo aporte de fertilizantes ao rio. Esse cenário, conjuntamente com a ausência de diferença significativa entre os pontos de coleta a montante e jusante, permite compreender que há, de fato, forte influência de contaminação por esgoto doméstico ou até mesmo da área de lixão dentro da bacia.

Tabela 2 - Distribuição da representatividade de áreas de cada uso e cobertura da terra identificados na Bacia do Rio Igarapé-Açu, Capanema-PA.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Área Agrícola	1363,872	6,9
Área Urbana	23,454	0,1
Cemitério	0,457	0,0
Corpo d'água	126,427	0,6
Edificações Rurais	344,759	1,8
Floresta	3016,343	15,4
Lixões	5,097	0,0
Mosaico de Ocupações	91,200	0,5
Pasto	9490,928	48,3
Sistemas Agroflorestais	8,839	0,0
Solo Exposto	44,686	0,2
Vegetação Secundária	5051,671	25,7
Vias	74,174	0,4
TOTAL	19641,907	100,0

Em ambos os pontos de coleta de água, há a presença de Floresta, representada especialmente por Áreas de Preservação Permanente, porém é predominante a presença de Pasto e Vegetação Secundária nos entornos dos pontos de coletas, a montante e a jusante (Figura 2). Observações de campo permitiram que essa verificação fosse feita também no ponto de coleta a jusante (P2), mesmo o mapeamento de uso e cobertura do presente estudo não abranja a região deste ponto.

Importante destacar ainda que, conforme a Figura 2, o ponto de coleta a jusante é o que sofre influência dos cerca de 7% de Áreas Agrícolas, levando em consideração a localização dessa classe de uso dentro da região de contribuição da bacia para este ponto. Assim, especialmente nesse local analisado, pode haver influência do manejo agrícola adotado, que tradicionalmente se baseia no corte e queima da vegetação secundária, característico da agricultura do Nordeste Paraense.

Considera-se também preparos de áreas para o plantio de feijão caupi (*Vigna unguiculata*), os quais se baseiam no uso da gradagem, expondo mais facilmente essas áreas ao transporte de sedimentos, com a consequente perda de solo. O regime de precipitação hidrológica tem influência direta na maior intensidade do processo de perda do solo, representado pelos acumulados de

precipitação mensal nos períodos de coleta de 2020 (2690,1 mm) e 2021 (2349,4 mm), que foram significativos e com expressivo potencial de escoamento superficial, sobretudo nos períodos chuvosos (ANA, 2023).

Outra atividade que se destaca na região é a produção da farinha de mandioca por meio das chamadas “casas de farinha”, que geram resíduos que não são aproveitados integralmente. Um desses resíduos é a manipueira, cujo descarte inadequado e o seu não reaproveitamento podem provocar impactos ambientais negativos (MENDONÇA, 2019). Segundo Ferreira *et al.* 2001, cada metro cúbico de manipueira corresponde a 7,6 kg de ureia, 3,5 kg de superfosfato triplo, 6,2 kg de cloreto de potássio, 0,5 kg de carbonato de cálcio e 6,3 kg de sulfato de magnésio, além da presença do radical cianeto, que ao se decompor, gera o ácido cianídrico, uma substância extremamente tóxica que pode causar a morte de peixes, quando lançada nos rios e igarapés, e de animais domésticos, quando ingerido pelos mesmos, representando um grande risco de contaminação ao meio ambiente.

No caso da contaminação por Fósforo, os valores apresentados para o ponto de coleta a montante podem ter uma elevada influência antrópica por estar situado junto a uma ponte às margens de uma estrada rural (ramal) importante, a qual liga comunidades agrícolas da região. Trata-se de um local naturalmente de intensa movimentação de sedimentos, conforme também analisado por Schneider *et al.* (2011), que apontam as estradas rurais como um meio de canalização de sedimentos quando em eventos de chuvas, através da intensificação do escoamento superficial.

Assim, diante do cenário de uso e cobertura da terra na bacia em estudo, com elevado índice pluviométrico, com baixa presença de mata ciliar e conhecido manejo inadequado do solo da agricultura da região, têm-se as condições favoráveis para aumento na intensidade do escoamento superficial e, consequentemente, para a perda de solos, os quais são processos hidrossedimentológicos que podem contribuir com o carreamento de compostos de Fósforo para as águas superficiais, provocando contaminação devido as atividades agrícolas (ISHERWOOD, 1998).

A Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu, de maneira geral, apresenta fatores ambientais que influenciam no enquadramento desta bacia em um contexto de média a alta vulnerabilidade ambiental. Além da bacia possuir

aproximadamente 48% da sua área coberta por Pasto (Tabela 2), apresentou intensidade pluviométrica de 329,4 mm/mês para o ano de 2020 e de 283,1 mm/mês para o ano de 2021 (ANA, 2023). Pode-se citar também que cerca de 89 % da bacia está sobre a formação geológica Grupo Barreiras, a qual apresenta alto grau de vulnerabilidade ambiental (CREPANI *et al.*, 2001).

Essa combinação de fatores ambientais, forçantes analíticas da vulnerabilidade ambiental, somadas ao modelo de gestão e de manejo da agricultura da região, com características gerais de agricultura tradicional, são indicativos de que a bacia se encontra sob impactos negativos relacionados à perda de solos. Como consequência dessas características hidrossedimentológicas, tem-se um maior potencial do aporte de sedimentos e nutrientes aos corpos hídricos, podendo ocasionar um decréscimo da qualidade da água dos mananciais, representando riscos à saúde pública e ambiental. (JOVINO *et al.*, 2022).

É importante ainda ressaltar que o ponto de coleta de água à jusante (P2) é o que recebe maior influência da classe Áreas Agrícolas, as quais estão situadas em sua grande maioria após o ponto de coleta à montante (P1), especificamente da parte central até o exultório da bacia no mapeamento (Figura 2). Exatamente na jusante, no período chuvoso, que se registrou a maior concentração do Ortofosfato, ultrapassando em mais de quatro vezes o limite previsto pela Resolução CONAMA nº 357/05, considerando água doce de Classe 2. Pinheiro e Deschamps (2008) identificaram forte correlação do aporte de Ortofosfato ao aumento das áreas de ocupação do solo com culturas anuais e pastagem. Os mesmos autores também detectaram que as perdas de nutrientes são relativamente elevadas em relação ao aporte feito na adubação das áreas agrícolas, o que reforça a importância desse monitoramento ambiental para um planejamento mais eficiente da gestão e manejo das áreas agrícolas dentro do contexto de bacias hidrográficas.

Em colaboração, o estudo de Moraes *et al.* (2005) apresenta para o estado do Pará a distribuição espacial da variação anual da precipitação, os meses mais chuvosos e os períodos de plantio, demonstrando que é em meados do mês de dezembro que se inicia o plantio agrícola na região de influência da Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu. Para isso, ocorre normalmente de maneira prévia o preparo de área com o uso do fogo e a adubação química, fundamentados em manejos não conservacionistas e que estarão sob o impacto de uma

pluviometria elevada. O Período de chuvas se inicia em janeiro, cenário favorável não apenas ao carregamento de sedimentos, cinzas e fertilizantes, mas também de esgotos domésticos e chorume do lixão.

O presente estudo colabora, de maneira geral, com a compreensão de que as atividades agropecuárias com manejos não conservacionistas e a ausência de saneamento podem sujeitar os ecossistemas a vários impactos ambientais negativos, aqui direcionados à contaminação por compostos de Nitrogênio e Fósforo. Suas origens, em maior representatividade, vêm de fontes de poluição difusa, como a dinâmica de uso e cobertura da terra, desmatamento das áreas de preservação permanente, ausência de saneamento ambiental e manejo inadequado dos agroecossistemas, como o uso do sistema de corte e queima da vegetação secundária. Além disso, reforça-se o grande impacto ambiental que o transporte de sedimentos, proveniente das alterações no ciclo hidrológico, tal como o aumento do escoamento superficial, podem provocar sobre os recursos hídricos, a partir da alteração dos padrões de qualidade da água, devido ao elevado aporte de compostos de Nitrogênio e Fósforo.

Com os dados aqui descritos, contribui-se também com os estudos já existentes que expõe a realidade de uma demanda de monitoramento de longo prazo das bacias hidrográficas amazônicas para subsidiar instrumentos, projetos e políticas públicas com enfoque na identificação qualitativa e quantitativa de desserviços e serviços ambientais. Especialmente, na linha de trabalho aqui projetada, os serviços de provisão de água em quantidade e qualidade são uma questão de prioridade à gestão ambiental na agropecuária.

A provisão de água aqui abordada parte do princípio de que a recuperação da quantidade e da qualidade da água são condições essenciais para uma adequada oferta desse recurso natural à sociedade dentro dos padrões mínimos de saúde e saneamento, constituindo-se como parte fundamental de um processo que busca a sustentabilidade das comunidades que vivem nas áreas rurais na Amazônia brasileira, em especial do município de Capanema-PA. Assim, o presente trabalho subsidia, de forma simplificada através de seus resultados, a necessidade de se estimular ações estratégicas de recuperação ambiental da qualidade da água (redução de nitrato e fósforo), bem como da quantidade de água nas áreas estudadas, considerando a adoção de programas

de educação ambiental, de recuperação de áreas degradadas e/ou alteradas e de pagamento por serviços ambientais.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos e interpretados sobre os compostos de nitrogênio de fósforo e do mapeamento do uso e cobertura da terra, pode-se concluir, de forma preliminar, que a região da Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu, bem como as comunidades nela localizadas, precisam de um investimento técnico no monitoramento dos recursos naturais, especialmente da qualidade da água, pois as concentrações avaliadas de compostos de Nitrogênio (N-Total e Nitrato) e de Fósforo (P-Total, Fosfato e Ortofosfato) estão com valores acima do permitido pela legislação, oferecendo risco à fauna aquática e exigindo um tratamento adequado para consumo humano.

Compreende-se que as altas concentrações observadas para os compostos estudados, no contexto do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica combinado à outros fatores ambientais, como a vulnerabilidade ambiental à perda de solos e o modelo de gestão e de manejo da agricultura da região, indicam um impacto negativo na qualidade da água vinculado ao uso de agroquímicos, esgoto doméstico e intenso processo de perda de solo.

Com isso, identificou-se que as concentrações apresentadas, tanto para os compostos de Nitrogênio quanto de Fósforo indicam que a água do Rio Igarapé-Açu, nos limites estudados, está imprópria para consumo humano, de acordo com a legislação (Resolução do CONAMA 357/05), o que exige um exame estratégico do modelo de governança da região, com especial enfoque sobre o modelo de uso e manejo da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Igarapé-Açu.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb: Rede Hidrometeorológica Nacional**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas/>. Acesso em: 01 março 2023.

BAIRD, R.; BRIDGEWATER, L. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, D. C.: American Public Health Association, 2017.

BARBOSA, L. S.; SILVA FILHO, E. P. Influência do uso e ocupação na qualidade da água no Rio Pirarara, afluente do Rio Machado, Rondônia/Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 320-332, 2018. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0030>.

BARROSO, D. F. R.; FIGUEIREDO, R. O.; PIRES, C. S.; COSTA, F. F.; GERHARD, P. Fluxos hidrogequímicos em águas fluviais de microbacias sob diferentes sistemas agropecuários na Amazônia Oriental. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3, p. 204-218, 2018. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0017>.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G.. Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identitários. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. A. (org.). **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: Edufra, 2017. p. 19 -58.

COSTA, F. E. V.; SOARES, D. A. S.. Bacia Hidrográfica do Rio Caeté (Pará/Brasil): cobertura e usos da terra e principais problemas ambientais. In: SILVA, C. N.; ROCHA, G. M.; SILVA, J. M. P.; CARVALHO, A. C. (org.). **Uso de recursos naturais na Amazônia paraense**. Belém: GAPTA/UFPA, 2021. p. 265-299.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDES FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

FERREIRA, W. A.; BOTELHO, S. M.; CARDOSO, E. M. R.; POLTRONIERI, M. C.. **Manipueira: um adubo orgânico em potencial**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 21 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 107).

FIGUEIREDO, R. O.; MARKEWITZ, D.; E. A. DAVIDSON, E. A.; SCHULLER, A. E.; WATRIN, O. DOS S.; SILVA, P. S.. Land use effects on the chemical attributes of low order streams in the eastern Amazon. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 115, n. G4, 2010.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS (FAPESPA). **Estatísticas Municipais Paraenses – Capanema**. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém, 2016. 59 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 150 p.

GIATTI, L. L.; CUTOLO, S. A.. Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na Amazônia Legal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XV, n. 1, p. 93-109, 2012.

GOUVEIA, R. G. L.; PEREIRA, G. T.; PISSARRA, T. C. T. MARTINS FILHO, M.. Influência do uso e cobertura da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Uberabinha (MG). **Revista Geonorte**, v. 13, n. 41, p. 167-190, 2022. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2022.V13.N.41.167190>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa Municipal Estatístico: Capanema-PA**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010, https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_estatisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/pa/capanema_v2.pdf.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

ISHERWOOD, K. F.. **Mineral Fertilizer use and the environment**. Paris: IFA, 1998. 53 p.

JOVINO, E. S.; ANGELINI, R.; COSTA, C. W.; BRESSIANI, D. A.; CUNHA, K. P. V., 2022. Impactos do uso e cobertura do solo na produção de sedimentos em área de manancial peri-urbano tropical. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 34, p. 1-16, 2022.

MARTINEZ, E. A.; CASALINHO, H. D.; LIMA, A. C. R.; SCHWENGBER, J. E.. Oferta de serviços ambientais a partir de diferentes agroecossistemas de base familiar no sul do Rio Grande do Sul. **Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. 71-86, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.18542/raf.v11i1.4678>.

MENDONÇA, A. S. A.. **Avaliação da produção de resíduos da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no município de Garrafão do Norte/PA**. Orientador: Adriano Vitti Mota. 2019. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço, PA, 2018.

MONNI, S.; IORIO, M; REALINI, A. Water as freedom in the Brazilian Amazon. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 5, n. 4, p. 812-826, 2018.

MORAES, B. C; COSTA, J. M. N; COSTA, A. C. L; COSTA, M. H.. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônia**, v. 35, n. 2, p. 207 - 214, 2005.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C.. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. 256 p.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 68 p.

PEREIRA, L. C. C.; MONTEIRO, M. C.; GUIMARÃES, D. O.; MATOS, J. B.; COSTA, R. M., 2010. Seasonal effects of wastewater to the water quality of the Caeté river estuary, Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 2, p. 467-478. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000200022>.

PINHEIRO, A.; DESCHAMP, F. C.. Transporte de ortofosfato e de nitrato na microbacia do Ribeirão Fortuna, SC. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient**, v. 12, n. 3, p. 318- 325, 2008.

PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES, G. F.. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo - Contagem. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.962>.

PRADO, J. R. S.; FIGUEIREDO, D. M.; CARVALHO DORES, E. F. G.; HONGYU, K.; DELFINO, A. J. G.; RODRIGUES, D. V. B.. Variação da qualidade da água em relação à sazonalidade e ao uso da terra no sul da Região Amazônica. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 43, p. 159-184, 2021.

RESENDE, A.V.. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p. (Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517-511; n. 57).

SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G.. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.