

Implicações hídricas do desmatamento na sub-bacia hidrográfica do rio Codozinho no período de 2002 a 2021

Water implications of deforestation in the Codozinho river sub-basin from 2002 to 2021

Railson Paiva Alves 1

Alex de Sousa Lima 2

Paulo Roberto Brasil de Oliveira Marques 3

Resumo

Nas últimas três décadas houve uma retomada preocupante do avanço do desmatamento em muitas partes do Brasil, afetando especialmente os recursos hídricos do país, inclusive no estado do Maranhão, onde há diversos recursos hídricos atingidos por essa prática, a exemplo da sub-bacia do Rio Codozinho, afluente do Rio Itapecuru. Tendo em vista esse panorama, o objetivo deste estudo foi pesquisar sobre o processo de desmatamento na sub-bacia hidrográfica do Rio Codozinho e suas implicações hídricas durante o período de 2002 a 2021. Para tanto, utilizou-se das bases de dados do TerraBrasilis, do MapBiomas e da NASA para desenvolver os produtos cartográficos essenciais para o entendimento dos processos atuantes na sub-bacia. Os resultados revelam que o alto curso da sub-bacia do Rio Codozinho sofreu grandes perdas de áreas natural no período de 2002 a 2010; e no período de 2012 a 2021, ocorreram desmatamentos com núcleos difusos na área, do alto ao baixo curso. Os dados fluviométricos indicam que houve perdas hídricas, mas associadas também às mudanças de regime pluviométrico. Conclui-se que o desmatamento tem afetado a disponibilidade hídrica da bacia e que medidas de contenção do processo devem ser tomadas.

PALAVRAS-CHAVE: MapBiomas; TerraBrasilis; Bacia Hidrográfica.

Abstract

- 1 Graduação em Licenciatura em Ciências Humanas-História do Centro de Ciências de Codó da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). railson.paiva@discente.ufma.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1713-6166>
- 2 Doutor em Geografia, Centro de Ciências de Codó / Universidade Federal do Maranhão (UFMA). alex.lima@ufma.br. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0955-2958>
- 3 Doutor em Química, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia / Universidade Federal do Maranhão (UFMA). paulo.brasil@ufma.br. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2860-0417>

The last three decades have seen a worrying increase in deforestation in many parts of Brazil, especially affecting the country's water resources, including in the state of Maranhão, where there are several water resources affected by this practice, such as the Codozinho river sub-basin, tributary of the Itapecuru river. The objective of this study was to research the deforestation process in the Codozinho river sub-basin and its water implications during the period from 2002 to 2021. To this end, we used the TerraBrasilis, MapBiomas and NASA databases to develop essential cartographic products for understanding the processes operating in the sub-basin. The results reveal that the upper course of the Codozinho river sub-basin suffered major losses of natural areas in the period from 2002 to 2010; and in the period from 2012 to 2021, deforestation occurred with diffuse clusters in the area, from the upper to the lower reaches. Fluviometric data indicate that there were water losses, but also associated with changes in rainfall regime. It is concluded that deforestation has affected the water availability of the basin and that measures to contain the process must be taken.

KEYWORDS: MapBiomas; TerraBrasilis; Hydrographic Basin.

Introdução

O Brasil apresenta vasta diversidade de recursos hídricos superficiais e subsuperficiais com muitos rios e reservatórios naturais importantes para atividades humanas e manutenção da biodiversidade. Nesse contexto, os estudos sobre os tipos de uso do solo em bacias hidrográficas se fazem necessários quanto ao entendimento dos processos que afetam a quantidade e a qualidade da água. Para Dos Santos et al. (2010, p.827) e Swann et al. (2015, p.12-13), o uso do solo, as variações climáticas, a diminuição da área foliar e das espécies com raízes profundas, entre outros fatores, são aspectos basilares na compreensão do regime hídrico de uma bacia hidrográfica.

Butt et al. (2015, p.251) consideram os estudos sobre os usos e ocupações da terra nas bacias hidrográficas como fundamentais para o acompanhamento das mudanças dos processos hidrológicos responsáveis pela quantidade e qualidade da água. O tipo de uso está diretamente ligado à dinâmica do ciclo hidrológico afetando a transpiração, a evapotranspiração, a interceptação, a capacidade de infiltração da água no solo e a profundidade do sistema radicular (PAUDEL; PAUDEL, 2021, p.100; RODRIGUES et al. 2022, p.6808). Além disso, afetam os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, alterações nos regimes de seca, bem como

cheias dos cursos d'água. Para Travassos; De Sousa (2011), o desmatamento reflete na degradação do solo a partir da redução da cobertura vegetal, pois contribui para o aumento da erosão, causando a perda de nutrientes e a diminuição da fertilidade da terra.

Dentre os tipos de mudanças no uso do solo, destaca-se o desmatamento que responde pelas perdas de áreas verdes, que ajudam na infiltração da água no solo, além de reduzir a evapotranspiração, processo que auxilia na formação de chuvas. O estudo de Rodrigues et al. (2022, p.6812), por seu turno, sugere que a substituição da vegetação nativa do Cerrado por terras agrícolas ou pastagens reduz a evapotranspiração (até 39%) e aumenta a temperatura da superfície terrestre (média diurna em $\approx 3,5^{\circ}\text{C}$). Outro processo é a substituição da vegetação pela cultura agropastoril com plantas que pouco influenciam na infiltração responsável pela manutenção dos cursos d'água ao longo do ano. Como resultado, ocorre a redução da disponibilidade de água (EUGÉNIO et al. 2013, p.217), tanto para consumo humano quanto para as atividades econômicas agravando os efeitos nos anos mais secos.

No Brasil, para se acompanhar o fenômeno do desmatamento, é possível obter informações do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, especificamente com os dados do *TerraBrasilis* sobre as alterações na cobertura vegetal. Os dados de 2001 a 2021 indicam que em todo o território nacional o processo de desmatamento apresenta graus e intensidades distintos, porém com maior relevância nos estados da região Norte, na fronteira do agronegócio e do garimpo ilegal. No ano de 2022, 90% dos desmatamentos concentravam-se nos biomas da Amazônia e do Cerrado, com aumento de 22,3% em relação ao ano anterior. O estado do Maranhão teve 168.446 ha de desmatamento em 2022. Considerando o período de 2001 a 2023 para o bioma Cerrado no Estado, foram desmatados 48.523,41 km² (INPE, 2024). Entende-se que tal processo represente possíveis efeitos aos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais, como a redução da quantidade e da qualidade da água.

Nesse contexto, cabe destacar a sub-bacia hidrográfica do Rio Codozinho, afluente da margem esquerda do Rio Itapecuru, que merece atenção quanto aos efeitos do desmatamento e especialmente quanto à disponibilidade hídrica. O desmatamento nesta sub-bacia apresenta-se de

forma complexa e provém de múltiplas causas ao longo do tempo, como a agricultura intensiva, a pressão econômica por recursos naturais e a expansão urbana. Considera-se que o desmatamento possui efeito negativo no ciclo hidrológico (PAUDEL; PAUDEL, 2021, p.96), especialmente afetando a dinâmica das bacias hidrográficas e dos processos de erosão que aumentam a turbidez da água, gerando impactos à fauna aquática (SILVA, 2020, p.73). Ademais, facilita o escoamento superficial responsável pelo transporte tanto de sedimentos quanto de agrotóxicos lixiviados do solo, o que resulta em contaminação dos recursos hídricos. Assim, tendo em vista o atual contexto, cabe o seguinte questionamento: como tem sido o processo de desmatamento na sub-bacia do Rio Codozinho no século XXI?

Estudos sobre a relação ou influência do desmatamento x disponibilidade hídrica tem mantido certa frequência em pautas recentes de publicações (SOUZA et al., 2019, p.572; Hou et al., 2023, p.10), visto que os efeitos do processo de desmatamento podem – muito embora não seja esta a única variável – contribuir diretamente com mudanças nos regimes fluviais dos rios, alterando, assim, a dinâmica de erosão, transporte e deposição.

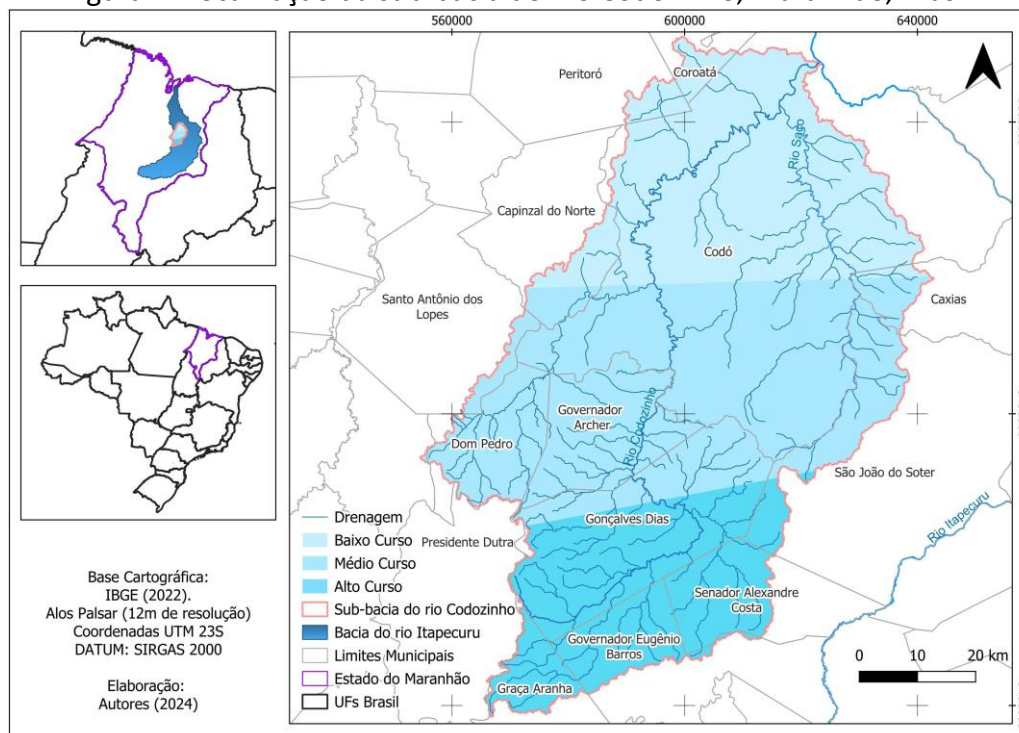
Nessa perspectiva, tornam-se indispensáveis estudos nas principais bacias hidrográficas do estado do Maranhão e suas sub-bacias, a fim de que se possa compreender os processos hidrológicos mais recentes e relacioná-los aos tipos de uso e ocupação. Assim, a sub-bacia do Rio Codozinho ganha atenção especial por causa do avanço do desmatamento em sua área, podendo implicar diretamente no regime hidrológico da bacia do Rio Itapecuru. Seguindo esse viés, o objetivo geral foi estudar o processo de desmatamento e suas implicações hídricas na sub-bacia hidrográfica do Rio Codozinho, no período de 2002 a 2021.

Procedimentos Metodológicos

Área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do Rio Codozinho está localizada no estado do Maranhão, sendo afluente da margem esquerda do Rio Itapecuru. Possui uma área de 5.579,14 km² com perímetro de 508,78 km (Figura 1). O principal afluente do Rio Codozinho é o Rio Saco, pela margem direita.

Figura 1- Localização da sub-bacia do Rio Codozinho, Maranhão, Brasil.



Fonte: elaborado a partir de IBGE (2022) e NASA (2020).

Coleta e tratamento dos dados geoespaciais

Os dados de desmatamento foram coletados no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, diretamente na plataforma do TerraBrasilis (ASSIS et al. 2019), para o período de 2002 a 2021, com a finalidade de compreender os padrões de evolução do desmatamento na sub-bacia hidrográfica do Rio Codozinho. Também foi necessário lançar mão de dados de uso e ocupação do solo da plataforma MapBiomas para as coleções dos anos de 2002, 2010 e 2021, com vistas a subsidiar as análises de desmatamento. Os dados de drenagem, altitude e declividade foram extraídos da base de dados das imagens do Alos Palsar (NASA, 2020). Para mais, foram utilizados os dados de geologia e litologia disponíveis em Klein; Sousa (2012), e todos os produtos foram elaborados no ambiente do *software* livre QGis, versão 3.34.4.

Quanto à organização dos dados de desmatamento, realizou-se a separação em camadas no formato *shapefile* para duas categorias de dados: os de 2002 a 2010; e os de 2012 a 2021. Cabe destacar que o conjunto de dados disponíveis correspondem aos seguintes anos: 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021. O processamento dos dados seguiu os seguintes passos: i) correções das geometrias com a ferramenta ‘corrigir geometrias’; ii) geração de pontos por meio da ferramenta ‘centroides’; iii) geração de densidade de kernel com a ferramenta ‘mapa de calor’ – para o valor do raio adotou-se 1.000 metros e o tamanho do pixel de 100; a escala de densidade de pontos variando de 0 a 47,906845 –; e, iv) produção dos mapas.

Também foram observados os dados de vazão da estação fluviométrica da ANA nº 33620000 (Fazenda Sobral) e da estação pluviométrica (443007), localizada às margens do Rio Codozinho, para as décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010. Tais dados foram tratados e organizados no software Excel 365 e utilizados para a compreensão da relação desmatamento x quantidade de água, especialmente no período das décadas de 2000 e 2010.

Trabalho de campo

Realizou-se trabalho de campo nos períodos chuvoso (março de 2023) e estiado (outubro de 2023) para fins de compreensão dos processos fluviais atuais que ocorrem próximos ao curso do Rio Codozinho. Esta etapa serviu para averiguação dos processos de erosão, transporte e deposição ao longo do canal principal do referido rio e realização de registros fotográficos para auxiliar na análise dos dados.

Resultados e discussões

No Quadro 1, pode-se observar os tipos de litologias presentes na área da sub-bacia do Rio Codozinho e que são fundamentais para entender os processos erosivos e a dinâmica sedimentar na bacia hidrográfica. É possível notar maior representatividade de arenitos das mais variadas formações o que, a depender do tipo de manejo, podem estar mais vulneráveis aos processos de erosão hídrica, segundo Toledo (2023, p.5). Conforme dados do IBGE (1998, p.125),

grande parte do assoreamento do Rio Codozinho, em trecho do baixo curso, se deveu a uma indústria com instalações na área da referida bacia, que despejou rejeitos diretamente no leito durante muito tempo podendo ser constatado na Figura 2B, pelos tipos de sedimentos encontrados, com as seguintes características: graus distintos de granulometria (mal selecionados), angulosos e com baixa relação com as rochas presentes nas margens. A Figura 2A, destaca uma margem do rio formada por arenito friável e de fácil erosão com a influência antrópica pertencente à Formação Codó. Durante o trabalho de campo foi possível constatar que a o trecho a montante das proximidades da área de atuação da indústria não apresentaram sedimentação com aspectos semelhantes aos descritos acima.

Quadro 1: Litologia das formações geológicas presentes na sub-bacia hidrográfica do Rio Codozinho.

Formação Geológica	Litologia
Depósitos Aluvionares (Q2a)	Areia e cascalho
Sedimentos pós-barreiras (N34pb)	Areia e argila
Coberturas Lateríticas (N13li)	Sedimento ditrito-laterítico, sedimento aluvionar, sedimento coluvionar
Barreiras (N12b)	Biocalcirrudito, margas, calcilitos e biohermitos
Itapecuru (K12it)	Conglomerado, arenito, arenito arcozeano, argilito, folhelho, siltito
Codó (K1c)	Arenito, calcário, folhelho, siltito
Grajaú (K1g)	Arenito
Corda (J3k1cd)	Arenito, argilito, folhelho, siltito argiloso
Motuca (P3m)	Arenito, argilito, siltito

Fonte: Klein; Sousa (2012).

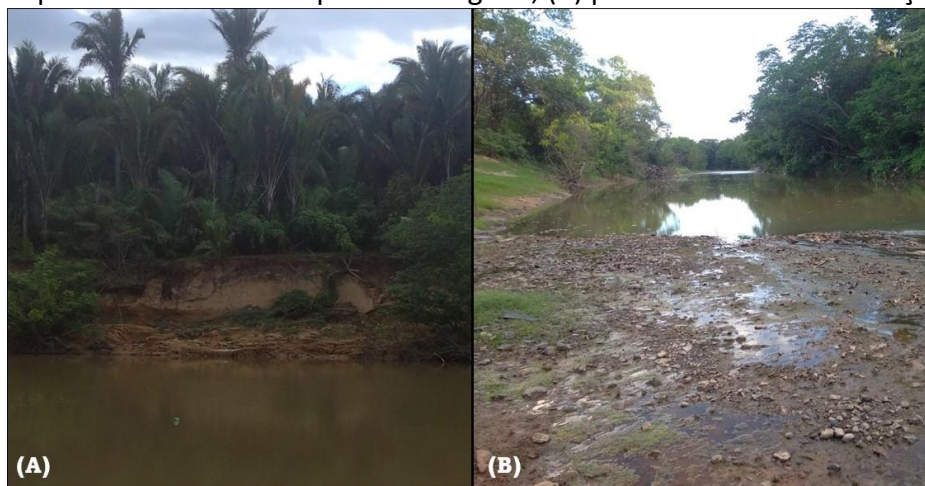
Elaborado pelos autores.

Por outro lado, notou-se durante o trabalho de campo a presença de formações com argilitos que, quando expostos, tendem a reduzir a capacidade de infiltração e o aumento do escoamento superficial, resultando em processos erosivos (sulcos, ravinas entre outros) (CORREA et al. 2014, p.145), além de contribuir com carga em suspensão (diluída), aumentando a turbidez.

Na Figura 3, apresenta-se a composição das formações geológicas da sub-bacia em questão e nota-se maior abrangência das formações geológicas Itapecuru e Codó. Segundo Klein; Sousa (2012), a Formação Motuca é composta por uma sequência estratigráfica que inicia com

arenitos, seguido por argilitos e siltitos, situada na porção nordeste da sub-bacia do Codozinho sobre a sub-bacia do Rio Saco.

Figura 2 – Processos de erosão e deposição no baixo curso do Rio Codozinho. (A) erosão lateral ocasionada por desmatamento e pisoteio de gado; (B) processos de sedimentação no leito.



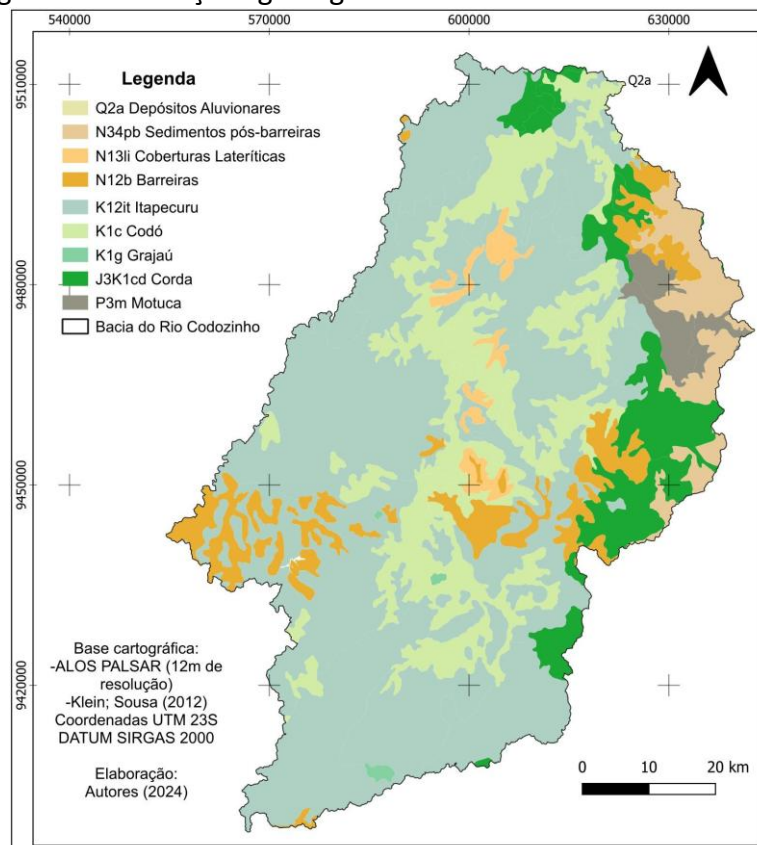
Fonte: Autores (2023).

Para Lima; Leite (1978), a Formação Corda é composta principalmente por arenitos de cores creme, rosa, amarronzados e cinza-arroxeados. Por outro lado, Klein; Sousa (2012) destacam que essa formação também apresenta folhelhos e siltitos argilosos. Estão situados a sudeste, a oeste, a nordeste e ao norte da área da sub-bacia. Com relação à Formação Grajaú, Klein; Sousa (2012) destacam que é eminentemente composta por arenitos e está situada no alto curso da sub-bacia, abrangendo uma pequena área no município de Governador Eugênio Barros.

A formação Codó é composta por sequências contínuas de arenito, calcário, folhelho e siltito (KLEIN; SOUSA, 2012). O curso principal do Rio Codozinho percorre grande parte dessa formação, sugerindo influência sobre a qualidade da água. Próximo à estação da ANA, no baixo curso, as margens são constituídas por arenitos friáveis dessa formação. Também no baixo curso é possível notar lavras de extração de rochas calcárias realizadas por uma empresa, localizada às margens da BR-316. Para a Formação Itapecuru, é possível notar uma variedade de rochas

sedimentares, incluindo conglomerado, arenito, arenito arcossiano, argilito, folhelho e siltito (KLEIN; SOUSA, 2012), que se estende desde o alto até o baixo curso.

Figura 3 – Formações geológicas da sub-bacia do Rio Codozinho.



Fonte: elaborado a partir de Klein; Sousa (2012).

A Formação Barreiras é caracterizada por uma sequência de rochas sedimentares e apresenta rochas calcárias que podem ser facilmente erodidas pela água, o que pode resultar em uma grande quantidade de sedimentos dissolvidos ou em suspensão na água. A presença dessas rochas calcárias, vale ressaltar, pode afetar a qualidade da água (ZOBY, 2008, p.14), já que sua dissolução pode aumentar a alcalinidade, o pH e a disponibilidade de nutrientes.

De mais a mais, pode-se observar que as coberturas Lateríticas acompanham o curso principal do rio, indicando processo de intemperismo, erosão e transporte que ocorrem na sub-bacia. A presença dessas coberturas sugere que as áreas estão sujeitas aos processos de erosão e

sedimentação, influenciados por fatores como topografia, condições climáticas e vegetação local (LOUREIRO et al., 2007, p.2). Os depósitos pós-Barreiras, conforme Klein; Sousa (2012), são compostos predominantemente por areia e argila.

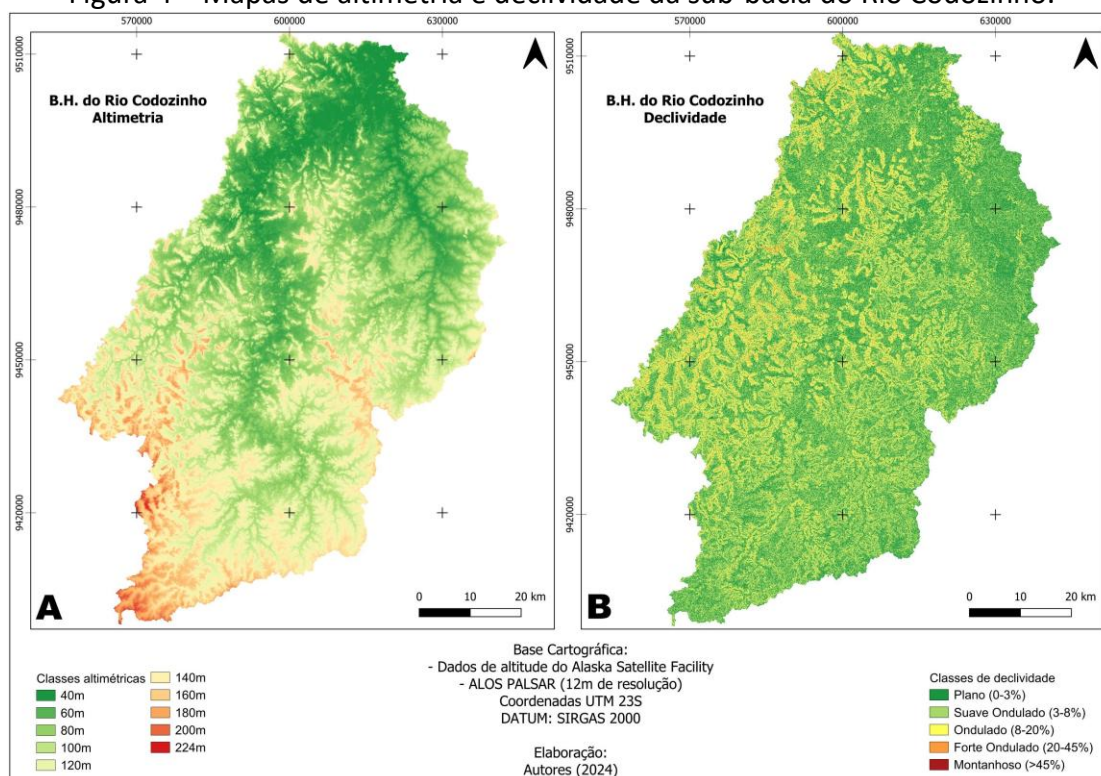
Os depósitos aluvionares, por sua vez, são formados quando os rios transportam sedimentos, como areia e cascalho, durante eventos de enchentes e cheias, e são encontrados em áreas conhecidas como planícies de inundação, áreas essas alagadas pelas cheias, o que propicia o depósito dos sedimentos transportados pela água. Na Figura 3, é possível notar que os depósitos aluvionares (Q2a) se concentram na desembocadura do Rio Codozinho, próxima à confluência com o Rio Itapecuru.

Considerando outros fatores físicos da sub-bacia como a altimetria e a declividade, destacadas na figura 4 (A e B), podem ser constatados alguns aspectos que, associados à geologia, ajudam a entender a dinâmica fluvial. Para a altimetria (Figura 4A), nota-se que o alto curso apresenta variação entre 100 m a 224 m de altitude; o médio curso, variação entre 60 m a 180 m; e o baixo curso, altitudes variando entre 40 m a 120 m. O alto curso, insta asseverar, indica drenagem ajustada ao relevo.

Para a declividade (Figura 4B), percebe-se que a sub-bacia do Rio Codozinho apresenta variação de Plano a Forte Ondulado, do alto ao baixo curso. Todavia, no médio curso e no baixo curso destacam-se as variações entre Suave Ondulado e Forte Ondulado, indicando escoamento superficial mais rápido, aumentando, assim, o risco de erosão do solo, além de menor infiltração de água, devido à velocidade do escoamento (TONELLO et al., 2006, p.853).

Caso ocorram desmatamentos nessas áreas, mudanças hidrológicas podem ocorrer e afetar a disponibilidade hídrica. As declividades na classe Plano favorecem a infiltração da água no solo, contribuindo para a recarga dos aquíferos subterrâneos. Os dados de altitude e declividade apontam para uma bacia hidrográfica com relevo bem dissecado e com presença de morrotes em diversas partes de sua área.

Figura 4 – Mapas de altimetria e declividade da sub-bacia do Rio Codozinho.



Fonte: elaborado a partir de Alos Palsar, NASA (2020).

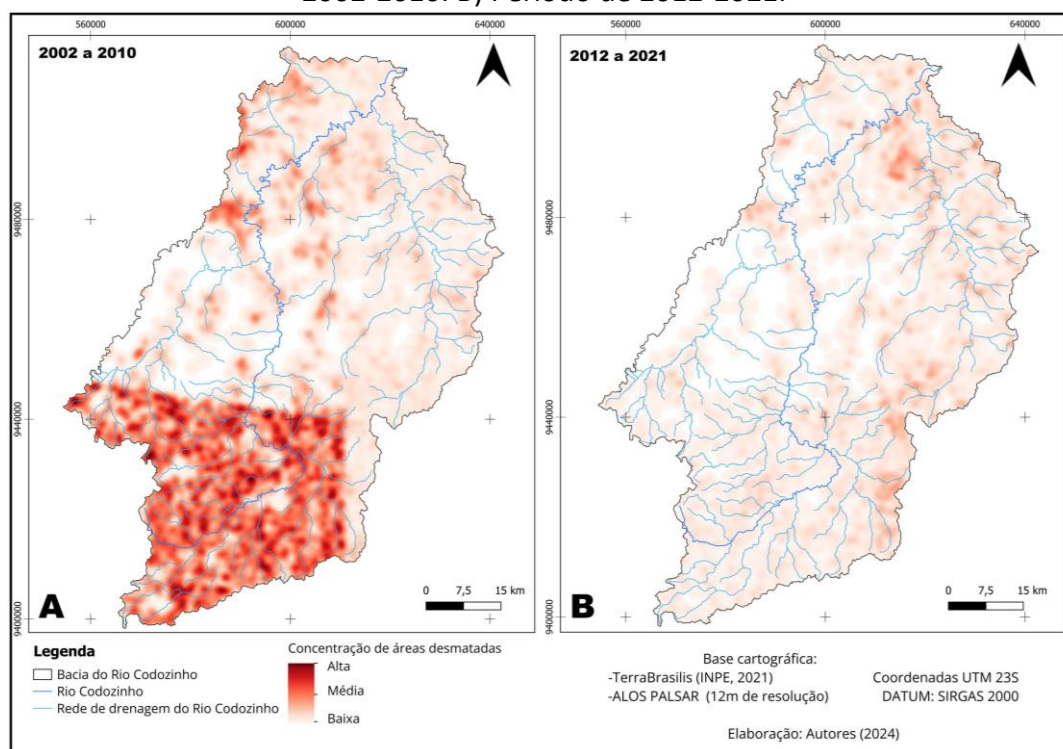
Com base na leitura dos dados relativos a desmatamento, pode-se notar na Figura 5 a densidade dos dados ocorridos na área da sub-bacia, organizados em dois períodos. A Figura 5A destaca o período de 2002-2010, e observa-se que houve a formação de multinúcleos de desmatamento com concentração no alto curso e em parte do médio curso na porção oeste. Esses núcleos do alto e do médio curso correspondem às áreas dos municípios de Dom Pedro, Governador Archer, Gonçalves Dias e Governador Eugênio Barros. No baixo curso também houve a formação de núcleos, correspondendo às terras dos municípios de Coroatá, Peritoró e Codó, porém com menor intensidade, comparando-se ao alto curso. O restante da sub-bacia apresentou algo inferior à média densidade de desmatamentos.

A Figura 5B, de 2012 a 2021, destaca que houve desmatamento na área da sub-bacia, porém em menor intensidade e com formação de núcleos inferiores à média densidade em áreas dos municípios Senador Alexandre Costa, São João do Soter e Codó. A sub-bacia está

compreendida por vegetação do bioma Cerrado, que está sobre forte pressão antrópica sobretudo das atividades agrícolas e do avanço das pastagens.

Considerando Bahiense et al. (2022, p.195), ao analisar os anos de 2010, 2015 e 2019, pôde-se notar parte da bacia faz parte da fronteira agrícola do MATOPIBA com culturas ocupando áreas advindas de desmatamentos (Figura 5). O Código Florestal Brasileiro de 1965, que vigorou até 2012, previa uma reserva legal de 50% para propriedades na Amazônia Legal, o que auxiliava na proteção das florestas nativas. No entanto, mesmo com as disposições do referido Código, ocorreu desmatamento na bacia do Rio Codozinho durante o período em que a aludida legislação ficou em vigor, sugerindo afrouxamento das fiscalizações.

Figura 5 – Mapas da densidade de áreas desmatadas na sub-bacia do Rio Codozinho. A) Período de 2002-2010. B) Período de 2012-2021.

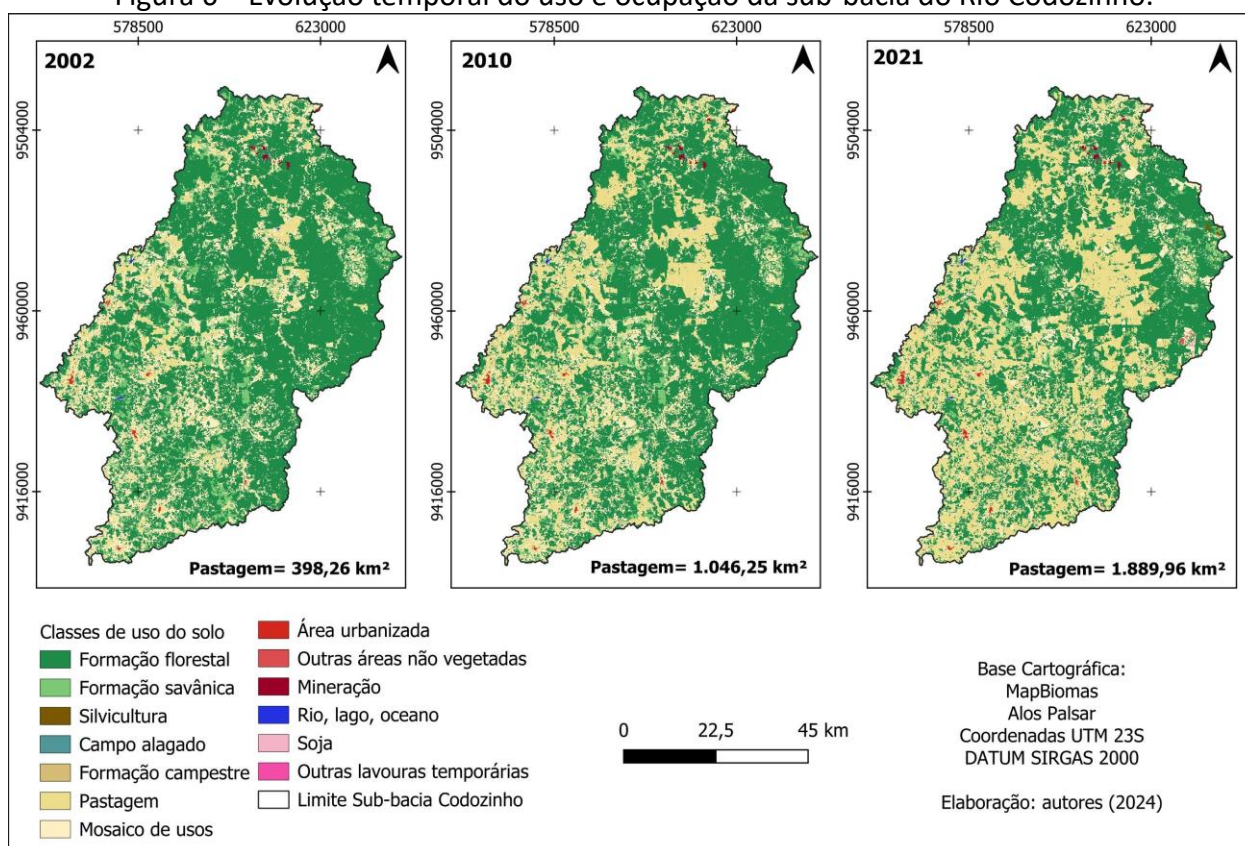


Fonte: TerraBrasilis/INPE (2021).

A partir de 2012, o novo Código Florestal reduziu a reserva legal de 50% para 20% para as propriedades situadas na Amazônia Legal, abrindo novo ciclo de desmatamentos. Também

permitiu a regularização de áreas desmatadas ilegalmente até julho de 2008, o que pode ter incentivado o desmatamento em algumas áreas da sub-bacia. Na Figura 6, é possível notar que houve um significativo aumento das áreas de pastagens, o que, conforme Rodrigues et al. (2022, p.6817), contribui para a redução da quantidade de chuvas e do aumento dos efeitos severos das secas.

Figura 6 – Evolução temporal do uso e ocupação da sub-bacia do Rio Codozinho.



Fonte: MapBiomas, Brasil (2024).

Ademais, é importante asseverar que a área de abrangência das pastagens em 2002 era de 398,26 km², e passou para 1.889,96 km² em 2021, conforme dados do MapBiomas (Brasil, 2002, 2021). Trata-se de um crescimento alarmante dessas atividades em um dos mais importantes tributários do Rio Itapecuru no baixo curso. Comparando 2010 com 2021, notável é o avanço das

áreas de pastagens sobre a área da sub-bacia do Rio Saco, que em 2002 era mais preservado. Aliás, uma parte desse processo ocorrido nessa área tem gerado conflitos agrários em comunidades rurais no município de Codó. Para Rodrigues et al. (2022, p.6808), os baixos níveis de proteção dos recursos hídricos podem influenciar diretamente na quantidade de água de uma bacia, que para este caso, atribui-se à sub-bacia do Rio Codozinho.

Considerando a possibilidade real de influência na quantidade de água da sub-bacia, foram levantados os dados de vazão média para as décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010 (Tabela 1). A década de 2010 apresenta os menores valores médios, o que sugere impacto na disponibilidade hídrica do Rio Codozinho. Segundo o IBGE (1998), já havia sido registrado, nos dados fluviométricos das décadas de 1970 e 1980, redução das descargas de vazão, indicando a influência de dois fatores: redução da quantidade de chuvas e a degradação da bacia.

Tabela 1: Dados de vazão média das décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010 da estação 33620000.

Década	VAZÃO MÉDIA (m³/s)											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1980	14,7	60,9	129,9	211,5	115,1	20,1	7,4	4,7	3,4	3,4	3,4	8,1
1990	17,4	36,9	84,0	130,7	51,7	11,0	4,9	2,9	2,1	1,8	1,9	2,9
2000	18,1	64,3	115,6	178,4	97,8	16,3	6,1	3,6	2,2	1,4	1,2	2,9
2010	3,0	16,6	53,6	95,4	39,2	5,1	2,6	1,2	0,8	0,7	0,9	2,3

Fonte: ANA (s/d).

Além disso, pode-se perceber que o período de junho a novembro atingiu as menores médias entre as décadas, podendo denotar que houve redução da quantidade de água. Todavia, segundo os dados da Estação pluviométrica 443007 da Agência Nacional de Águas (ANA), as precipitações totais na década de 1980 foram de 17.449,1 mm; na década de 1990, 13.111,8 mm; na década de 2000, 15.446,9 mm; e na década de 2010, 12.045,9 mm.

Durante esse período, conforme Bezerra (2023, p.23-48), ocorreram 12 eventos de El Niño e 15 de La Niña com intensidades diferentes sobre o Nordeste brasileiro, com destaque para os

seguintes: El Niño, 1982-83 (muito forte, TSM $>2,0$ °C com anomalias negativas de precipitação). Segundo dados da Estação Pluviométrica (443007), esse período foi marcado por precipitações abaixo da média climatológica. Período de 1987-88 (forte, TSM entre 1,5 e 1,9 °C com anomalias negativas de precipitação para o período chuvoso de 1987, segundo a Estação 443007); 1991-92, (forte, TSM entre 1,5 e 1,9 °C com anomalias negativas de precipitação com valores abaixo da média climatológica); 1997-98 (muito forte, TSM $>2,0$ °C, o segundo maior evento extremo com fortes secas com efeitos mais severos em 1998, conforme os dados da estação 443007); e, 2015-16 (muito forte, TSM $>2,0$ °C, o maior evento extremo com fortes secas. De acordo com os dados da Estação 44300, os anos de 2015 e 2016 não alcançaram 980 mm anuais, cada. O ano de 2015, conforme Lima; Vieira Junior (2022, p.9-10), foi marcado pela forte estiagem e pelo elevado número de registros de focos de incêndio no município de Codó.

Já os eventos de La Niña com maior destaque na classificação forte foram: 1988-89, anomalias positivas de precipitação. Segundo os dados da Estação Pluviométrica (443007), de janeiro a junho de 1988 foi registrado cerca de 2.457,2 mm de precipitação; de 1998-99, apenas em março de 1999 houve registro acima da média climatológica (410,3 mm), correspondendo a anomalias negativas para este evento; 1999-00 representou um período chuvoso com apenas um mês acima da média climatológica e período estiado rigoroso; 2007-08, período estiado rigoroso em 2007; 2010-11, período marcado por médias abaixo do esperado com distribuição irregular de chuvas, conforme dados da Estação Pluviométrica (443007).

Tomando por base o exposto acima, pode-se dizer que houve redução na quantidade de água do Rio Codozinho com importante contribuição das variações pluviométricas ao longo das décadas, com redução de mais de 30 % do volume de chuvas da década de 1980 a 2010, algo refletido nos dados de vazão e potencializados pelo aumento das áreas de pastagens. Também pôde-se notar que o processo de desmatamento se deu de forma acelerada em curto período de tempo, de 2002 a 2021, e isso, somado aos aspectos descritos acima, gera uma cadeia de impactos, tais: redução da biodiversidade aquática, aceleração de processos erosivos, influência na dinâmica de vida das comunidades rurais, redução da contribuição ao Rio Itapecuru entre outros.

Considerações finais

O estudo dos impactos do desmatamento na sub-bacia do Rio Codozinho no século XXI revelou a relevância e a complexidade dessa questão ambiental. Os resultados obtidos por meio da análise dos dados de desmatamento, disponibilidade hídrica e qualidade da água destacam a importância de compreender os processos que afetam os recursos hídricos em bacias hidrográficas como a do Rio Codozinho.

O desmatamento se mostrou como um dos principais fatores responsáveis pela alteração da cobertura vegetal na área de estudo, estando a maior preocupação voltada para o alto curso da bacia, que apresentou forte alteração da cobertura vegetal. A intensidade desse fenômeno está associada a fatores como a pressão econômica por recursos naturais, a expansão agrícola e a urbanização.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, que apoiou o projeto guarda-chuva.

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas. Série histórica da estação fluviométrica 33620000 (Fazenda Sobral) para os dados das décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- ASSIS, L. F. F. G. et al. TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 8, 513, 2019. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- BAHIENSE, D. V. et al. Espacialização da Agroindústria Canavieira na Região do MATOPIBA (Brasil). *Revista Econômica do Nordeste*, v. 53, p. 186-205, 2022. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/1385/960>. Acesso: 31 out. 2024.
- BEZERRA, B. P. S. Impactos dos eventos de El Niño e La Niña fortes no regime de precipitação no Nordeste brasileiro: uma revisão. Monografia (graduação), curso de bacharelado em Meteorologia do Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 55 folhas, 2023. Disponível em:

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/53528/4/ImpactosEventosFortes_Bezerra_2023.pdf. Acesso em: 23 mar. 2024.

BRASIL. Projeto MapBiomas. Coleção MapBiomas para os anos de 2002, 2010 e 2021. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 12 abr. 2024.

BUTT, A. et al. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, n. 2, p. 251-259, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982315000332>. Acesso em: 20 out. 2023.

CORREA, E. et al. Resistência à Penetração e Densidade do Solo como Indicadores na Análise da Susceptibilidade a Erosão Hídrica dos Solos. **Revista Geonorte**, 5(21), 141-146, 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1507>. Acesso em: 23 jun. 2023.

DOS SANTOS, E. H. M. et al. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/vbWrQ57Pf7SF5tbx6pmxPNq/>. Acesso em: 12 ago. 2023.

EUGÊNIO, F. C. et al. Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da Bacia hidrográfica de Rive, Alegre, ES, Brasil. **Lusitana**, v. 21, n. 2, p. 205-218, 2013. Disponível em: <https://mundogeomatica.com.br/Publicacoes/Artigo49.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

HOU, Y. et al. A global synthesis of hydrological sensitivities to deforestation and forestation. **Forest Ecology and Management**, v. 529, p. 120718, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112722007125>. Acesso em: 30 out. 2024.

IBGE. Subsídios ao Zoneamento Ecológico-Econômico da Bacia do Rio Itapecuru-MA: Diretrizes Gerais para Ordenação Territorial. Rio de Janeiro, 1998, 187 p. (Estudos e pesquisas em geociências 5). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv7944.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 22 jun. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraBrasilis**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S.(orgs). Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG: Escala 1:750.000. Belém: CPRM, 2012. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17861>. Acesso em: 22 fev. 2023.

LIMA, E. de A. M.; LEITE, J. F. Projeto estudo global dos recursos Minerais da Bacia sedimentar do Parnaíba. Integração geológico-metalogenética. CPRM, 1978. Disponível em: http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/9667/9/rel_estudo_global_parnaiba_final3v9.pdf. Acesso em: 12 dez. 2024.

LIMA, A. S.; VIEIRA JUNIOR, B. C. Estudo de áreas queimadas no município de Codó (MA), Brasil. **Boletim Paulista de Geografia**, nº 107, jan.-jun. 2022. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/2055>. Acesso em: 12 mar. 2024.

LOUREIRO, D. D. T. et al. Utilização do ADP (Acoustic Doppler Profile) na determinação do aporte de sedimentos do reservatório de Barra Bonita–SP. **Anais... Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** 2007. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/2abdd8a11fed4367290b447c47fab413_0553754fc44023e51bc6c257353a4ff8.pdf. Acesso em: 24 ago. 2023.

MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomias** (2002, 2010 e 2021). Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. ASF Data Search. 2020. Disponível em: [https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&zoom=9.668¢er=-43.907,-4.877&polygon=POLYGON\(\(-44.4574%20-5.0947,-43.7769%20-5.0947,-43.7769%20-4.3534,-44.4574%20-4.3534,-44.4574%20-5.0947\)\)](https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&zoom=9.668¢er=-43.907,-4.877&polygon=POLYGON((-44.4574%20-5.0947,-43.7769%20-5.0947,-43.7769%20-4.3534,-44.4574%20-4.3534,-44.4574%20-5.0947))). Acesso em: 23 abr. 2023.

PAUDEL, Y; PAUDEL, A. Effects of Forest and Rangeland on Interception, Evapotranspiration, Soil Moisture and Ground water, Infiltration-a review. **International Journal of Forest Sciences** (2021). 1(3): 95-104. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825222003270>. Acesso em: 29 out. 2024.

RODRIGUES, A. A. et al. Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**, v. 1, p. 1-1, 2022. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.16386?casa_token=adZTbLI2f7gAAAAA%3AhKcNa6Fk5D4rTulQI5cxUnxRGs_e4U2VmMtX4a5FsmR9xz3WoKljt7gumomqp5bpEaeqs0_3jXG8s6m4. Acesso em: 12 jan. 2024.

SILVA, M. de F. da. A degradação ambiental decorrente da construção do Ramal da Água Preta/Areal, Zona Rural de Manaus/Amazonas. 2020. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8091>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SOUZA, K. B. et al. Influência do uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Uruçuí-Preto, Piauí. **Nativa**, v. 7, p. 567, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7181>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SWANN, A. L. S. et al. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214, p. 12-24, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192315002130>. Acesso em: 13 maio 2023.

TOLEDO, J. A. C. Relação entre manejo do solo e erosão hídrica: uma revisão bibliográfica. **Craibeiras de Agroecologia**, v. Vol. 8, p. 1-13, 2023. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/13255/11048>. Acesso em: 30 out. 2024.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v. 30, p. 849-857, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/Lst9NTwcpCs8dGtd638x4f/?lang=pt>. Acesso em: 20 ago. 2023.

TRAVASSOS, I. S.; DE SOUZA, B. I. Solos e desertificação no sertão paraibano. **Cadernos do Logepa**, v. 6, n. 2, p. 101-114, 2011. Disponível em: <https://encurtador.com.br/uMOW2>. Acesso em: 13 jan. 2024.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. *Águas Subterrâneas*, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23802>. Acesso em: 20 ago. 2023.