

# **ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO DA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BENFICA, BRASIL.**

*Space-temporal Analysis of Soil Use and Coverage in the Benfica River Basin  
Region, Brazil.*

**Melilla Maria Sampaio Pinto da Silva Torres**

**Universidade Federal Rural da Amazônia**

Instituto Ciberespacial

[sampaioelilla@gmail.com](mailto:sampaioelilla@gmail.com)

**Mateus Trindade Barbosa**

**Universidade Federal Rural da Amazônia**

Instituto Ciberespacial

[mateustrindade3000@gmail.com](mailto:mateustrindade3000@gmail.com)

## **Resumo:**

Localizada na Região Metropolitana de Belém-PA, a bacia hidrográfica do Rio Benfica (BHRB) é uma área intensamente vulnerável a mudanças, sejam elas antrópicas ou naturais, logo, o processo de uso e cobertura do solo é uma ferramenta essencial para a preservação deste espaço. O objetivo desse estudo foi utilizar a plataforma Google Earth Engine (GEE) para uma análise espaço-temporal nos anos de 2011 e 2021, mapeando as classes características da região que apresenta uma urbanização desordenada compondo áreas verdes e os corpos hídricos. Com assistência dos softwares Arcgis 10.2 e Qgis 3.16.4, os dados obtidos foram tabelados e transformados em mapas para uma análise espacial, evidenciando o crescimento urbano e o progresso das áreas com solo exposto, assim gerando subsídios para uma possível elaboração de planos de manejos ambientais com o intuito de diminuir a degradação dos recursos naturais e aperfeiçoar a gestão territorial da área.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica, solo, ocupação, gestão, fluxo.

## **Abstract**

Located in the Metropolitan Region of Belém-PA, the Benfica River basin (BHRB) is an area intensely vulnerable to changes, whether anthropic or natural, so the process of land use and cover is an essential tool for the preservation of this area. space. The objective of this study was to use the Google Earth Engine (GEE) platform for a multitemporal analysis in the years 2011 and 2021, mapping the characteristic classes of the region that presents a disordered urbanization composing green areas and Water Bodies. With the assistance of Arcgis 10.2 and Qgis 3.16.4 software, the data obtained were tabulated and transformed into maps for a spatial analysis, showing urban growth and the progress of areas with exposed soil, thus generating subsidies for a possible elaboration of management plans environmental issues in order to reduce the degradation of natural resources and improve the territorial management of the area.

**Keywords:** Watershed, soil, occupation, management, flow.

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Steffen (2004), os procedimentos de modificações no uso e cobertura do solo, sobretudo, os provocados pelo homem, dispõe de consequências no sistema terrestre até então não assimiladas. Nesta conjuntura, as bacias hidrográficas, vistas como áreas do território compostas por um rio principal e seus afluentes que escoam em um mesmo curso d'água, são regiões excessivamente vulneráveis a alterações (GUERRA, 1978).

A gestão territorial das águas deve ter presença irrevogável nas deliberações econômicas, políticas e científicas a fim de solucionar as adversidades quanto a administração da sua utilização (FRANCA, 2009). Desta forma, o ordenamento territorial pretende condicionar a constância para meio de preservação do ecossistema e atender as indisponibilidades antrópicas no decorrer do tempo. (LU et al, 2004; FOLEY et al, 2005).

No meio dos aspectos para entendimento sobre bacias hidrográficas salienta-se a especificação de estudos do uso e ocupação do solo em toda sua dimensão. (ROSA, 2003). O uso do sensoriamento remoto e suas variadas técnicas, assim como o geoprocessamento em parceria com os sistemas de informação geográfica (SIG), são fundamentais para a designação física de uma bacia hidrográfica, com base em imagens advindas de satélites é possível elaborar mapas os quais são capazes de detectar modificações na região da bacia. (GONÇALVES et al, 2015).

O centro desse artigo, a bacia hidrográfica do Rio Benfica (BHRB), encontra-se na Região Metropolitana de Belém (RMB), no estado do Pará. A RMB precedentemente referia-se aos municípios de Belém e Ananindeua; a começar de 1995, a região teve seu aspecto remodelado com a introdução dos municípios de Benevides, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará (CARDOSO, 2008).

Essas modificações no território da RMB são ocasionadas por um processo histórico político-econômico na Amazônia, induzindo a expansão urbana, assim alterando o uso e cobertura da terra, trazendo indústrias, urbanização acelerada e não-planejada e a descentralização da cidade, com crescimento da ocupação da periferia distante, inserindo à malha urbana os espaços de outros municípios até então tidos como rurais (TRINDADE JR, 1998).

A região norte dispõe de planejamentos e gestão sobre os recursos hídricos sendo principiantes e fragmentados, omitindo uma política preventiva e eficiente, em desfavor de procedimentos corretivos, com maiores gastos e divergências (MOTA, 1998). Em virtude da falta de planificação, a urbanização desenfreada e desalinhada sucede sobre o território da BHRB e apesar de possuir uma Política Estadual de Recursos Hídricos, produzida pela Lei Estadual N° 6.381 de 25 de julho de 2001 (PARÁ, 2001), a inexistência de um comitê de Bacias para a região contraria a gerência dos recursos hídricos.

Perante o exposto, este estudo teve como finalidade a realização de uma análise espaço-temporal dos anos de 2011 e 2021 do uso do solo e cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica, avaliando as dinâmicas e discrepâncias no âmbito do crescimento urbano e recursos naturais, mediante técnicas de geoprocessamento, o qual viabilizem prognósticos e diagnósticos para sugestões e decisões apropriadas para uma gestão territorial favorável.

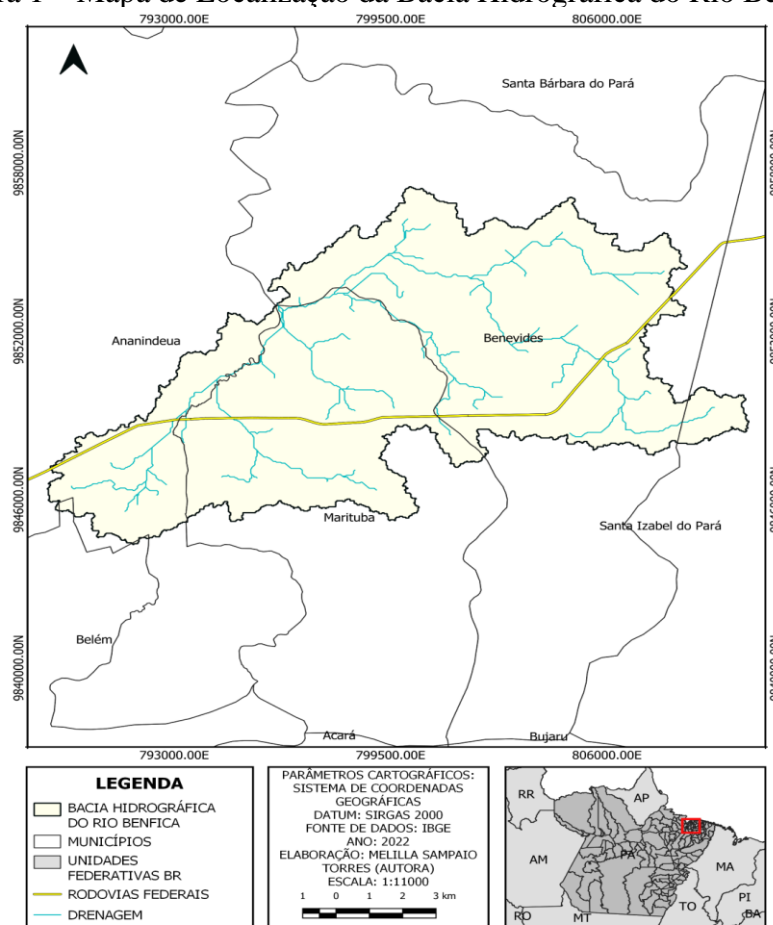
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

## 2.1 Localização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Benfica (BHRB) fica localizada na Região Metropolitana de Belém - RMB, no estado do Pará, possuindo uma área de aproximadamente 134 ha, situada entre 01°17'22.71" e 01°24'24.14" de latitude sul, e 48°23'15.42" e 48°13'44.76" de longitude oeste, tendo como extensão de seu rio principal medindo 20 km a qual vai da nascente, localizada no município de Benevides, até sua foz, localizada no complexo da Baía do Guajará. Segundo a classificação hidrográfica da SEMA (2012), a área pertencente a esse estudo encontra-se na Região Hidrográfica Costa Atlântica-Nordeste, ocupando 9,5% do território do estado.

A região da bacia abrange os municípios de Benevides, Marituba, Ananindeua, Santa Izabel do Pará e uma pequena parte da capital do estado, Belém, onde é cortada pelas vias de acesso a RMB, BR316 E PA483 (Alça viária). Possui como afluentes o Rio Mocajuba, o Rio Uriboca, O Igarapé Santo Amaro e o Igarapé Itapecuru, e como Rio Principal o corpo d'água designado Rio Benfica (BDGEX, 2018). A figura 1 mostra a localização da BHRB.

Figura 1 – Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica.



Fonte: Autores (2022).

## 2.2 Metodologia

Para a delimitação da área da bacia e sua drenagem específica foi utilizada uma imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) através do site do projeto TOPODATA – Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil, tratada no software Arcgis 10.2, recortada com a ferramenta “*Extract by Maske*” para a região de interesse. No mesmo software, é definido a direção do fluxo da bacia com a ferramenta “*Flow Direction*”, seguindo com a ferramenta “*Flow Accumulation*” para acumulação desse fluxo. Posteriormente com a ferramenta “*Raster Calculator*” foi condicionado o acúmulo de fluxo para que ele seja maior que 10.000, pois o princípio desse recurso é que quanto maior o número, menos ramificações serão geradas. Logo, foi gerada a drenagem com a ferramenta “*stream to feature*”, onde foi relacionado a direção do fluxo com o produto advindo do cálculo das ramificações e, por fim, utilizou-se a ferramenta “*Basin*” para criar a delimitação da BHRB com suporte do acúmulo de fluxo.

Utilizou-se um mosaico de imagens orbitais pertencentes ao ano de 2011 e 2021 entre o período de julho a dezembro, época escolhida para menor aparição de nuvens sobre a região, devido ao seu clima, através dos satélites Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI-TIRS, cedido pelo Google Earth Engine (GEE), em virtude que esta é uma plataforma que engloba um acervo de imagens sendo integrada frequentemente e que possui técnicas primorosas para acompanhamento da superfície terrestre (GORELICK, et al, 2017).

Com o shapefile advindo do processo de delimitação da bacia, foi utilizada uma classificação supervisionada, com coleta de amostras para cada classe detectada em ambos os períodos, com a quantificação maior para as classes com mais áreas de abrangência. Com a expansão de área de algumas classes, foi necessário acrescentar mais amostras para a classificação do ano de 2021, assim quantificando toda a extensão do território. A Quantificação das Amostras para a Classificação está disposta na Tabela 1.

Foi adotado o algoritmo Random Forest para estabelecer a classificação de uso e cobertura do solo. Posto isso, foram mapeadas as classes área urbana, corpos hídricos, solo exposto, vegetação e outros, da qual a caracterização está ordenada na Tabela 2.

Tabela1: Quantificação das Amostras para a Classificação.

ANO	CLASSES	AMOSTRAS
2011	VEGETAÇÃO	100
	CORPOS HÍDRICOS	250
	SOLO EXPOSTO	500
	ÁREA URBANA	300
	OUTROS	20
	<b>TOTAL</b>	<b>1170</b>
ANO	CLASSES	AMOSTRAS

<b>2021</b>	VEGETAÇÃO	100
	CORPOS HÍDRICOS	300
	SOLO EXPOSTO	650
	ÁREA URBANA	300
	OUTROS	20
	<b>TOTAL</b>	<b>1370</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 2: Características das classes de uso e cobertura da terra.

CLASSES	CARACTERÍSTICAS
VEGETAÇÃO	Floresta primária e secundária; Gramíneas; Capoeira
CORPOS HÍDRICOS	Águas superficiais que formam espelhos d'água; Rios
SOLO EXPOSTO	Terrenos arenosos; Vias não pavimentadas
ÁREA URBANA	Vias pavimentadas; Áreas residenciais e Comerciais, com construções e edificações
OUTROS	Nuvens; Sombras de Nuvens

Fonte: Autores (2022).

Elaborado por Rouse et al. (1973), o índice espectral de vegetação, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), é um índice indiciador das mudanças na cobertura vegetal e demonstra muita receptividade para vegetação dispersa como para vegetação densa. Aplicando a linguagem de programação JavaScript, fez-se necessário a contribuição do NDVI para a oscilação na vegetação durante o espaço de tempo escolhido, ocorrente nas cenas adquiridas pelo GEE para os anos de 2011 e 2021, assim auxiliando de maneira mais eficaz a coleta de amostra para a classe vegetação. Também foi utilizada uma matriz de confusão para computar a concordância (Índice Kappa e Exatidão Global), evidenciando a credibilidade do estudo.

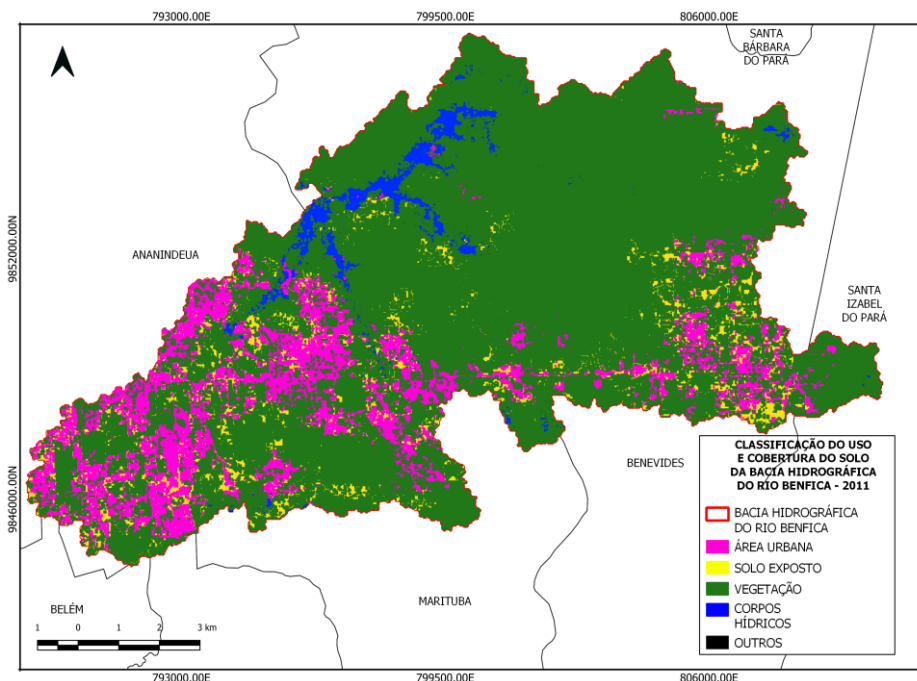
A construção dos mapas de localização e do mapa de classificação do uso e cobertura do solo da BHRB foram feitos no software Qgis 3.16.4, utilizando a projeção cartográfica de Mercator e o Datum SIRGAS 2000, com suporte da base cartográfica de vetores do IBGE. Seguidamente, utilizou-se o software Microsoft Excel® para tabular as informações e gerar os

gráficos da área nos períodos propostos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

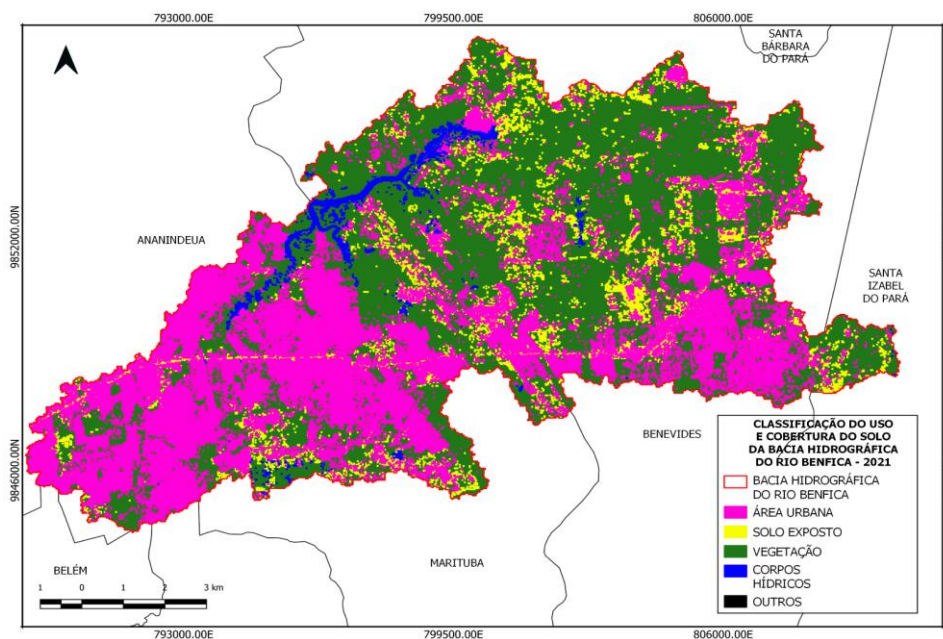
A figura 2 e figura 3 representam, respectivamente os anos de 2011 e 2021, os mapas de uso e cobertura do solo da BHRB e sua caracterização, expondo como a ordenação de tais classes modificam o panorama dessa região e de que maneira estão distribuídas espacialmente.

Figura 2: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica (2011).



Fonte: Autores (2022).

Figura 3: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica (2021).



Fonte: Autores (2022).

A confiabilidade do processo de caracterização é indicada pelo índice Kappa e pela Exatidão Global mostrado na Tabela 3, para os anos de 2011 e 2021, apontando como excelente a pesquisa dos dados feita no Google Earth Engine, de acordo com os parâmetros apresentados por Landis; Koch (1977).

Tabela 3: Resultados dos índices de concordância para a Classificação.

ANO	EXATIDÃO GLOBAL (%)	ÍNDICE KAPPA
2011	92%	0,89
2021	93%	0,89

Fonte: Autores (2022).

Com base nesse processo, foi realizada a quantificação dos dados advindos das classes escolhidas, mostrada na Tabela 4 e, para uma comparação mais visual, a figura 4.

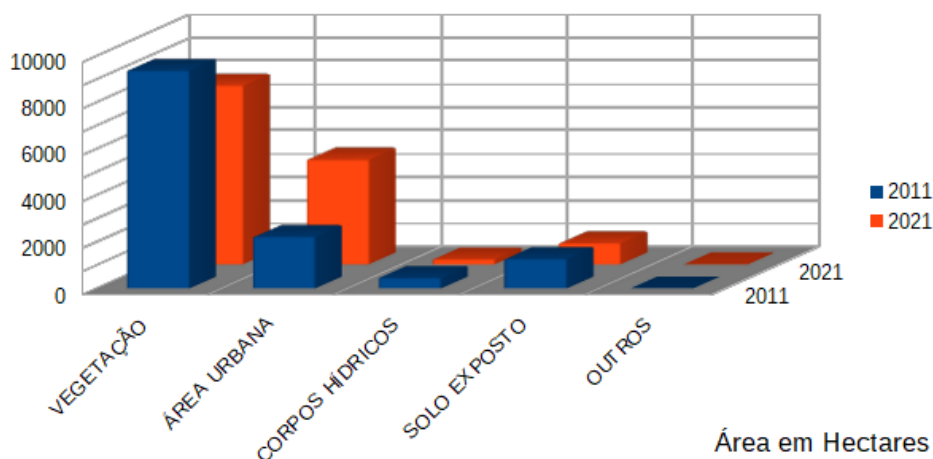
Tabela 4: Resultados da Classificação no GEE da BHRB.

ANO	CLASSES	ÁREA (ha)	PARTICIPAÇÃO RELATIVA (%)
	VEGETAÇÃO	9.378	70,14%

2011	CORPOS HÍDRICOS	468,364	3,50%
	SOLO EXPOSTO	1.278,68	9,56%
	ÁREA URBANA	2.226,73	16,66%
	OUTROS	17,896	0,13%
	<b>TOTAL</b>	<b>13.369,67</b>	<b>100,00%</b>
<b>ANO</b>	<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PARTICIPAÇÃO RELATIVA (%)</b>
2021	VEGETAÇÃO	7.697,12	57,57%
	CORPOS HÍDRICOS	226,36	1,69%
	SOLO EXPOSTO	919,25	6,88%
	ÁREA URBANA	4.517,78	33,79%
	OUTROS	9,16	0,07%
	<b>TOTAL</b>	<b>13.369,67</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autores (2022).

Figura 4: Gráfico da Quantificação das Classes Temáticas de 2011 e 2021.



Fonte: Autores (2022).

Conforme a visualização dos mapas temáticos produzidos (Figura 2 e 3) do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Benfica, é viável assegurar que a classe predominante em ambos os períodos foi a Vegetação seguida por Área Urbana.

A extração da drenagem da BHRB, feita pelo software Qgis 3.16.4, teve como base uma imagem SRTM de resolução espacial de 10 metros e a classificação de uso e cobertura do solo foi feita com a média de imagens vindas dos satélites Landsat-5 e Landsat-8, de resolução espacial de 30 metros. Assim, a drenagem apresentada no mapa de localização e suas ramificações é diferente da quantificação e apresentação da classe Corpos Hídricos, já que por ter uma resolução espacial melhor, as imagens SRTM são capazes de abranger mais alvos presentes na área desejada e não superficiais, e também pela classificação supervisionada ser feita por coleta de amostra em cada pixel da imagem, de maneira superficial.

A classe Solo exposto teve uma diminuição com o passar de 10 anos, assinalando mudanças na dinâmica terrestre da região que totaliza 13.369,67 ha, salientando que, de acordo com Deák & Schiffer (2004), os grandes aglomerados urbanos estão cada vez mais intensos devido ao crescimento demográfico e a necessidade de espaço.

Analisando os mapas e os dados (Figura 2 e 3 e Tabela 4), é notório a predominância de vegetação mais ao nordeste da região, pois, segundo Costa et al (2017), há uma conjuntura de cobertura vegetal mais afastada das estradas, no caso, da BR-316. No ano de 2011 a vegetação era 70,14% do território e para o ano de 2021, houve uma queda de 12,57% de cobertura vegetal. Assim, há uma corroboração com Alves (2001), ratificando sobre a incidência de possuir mais vegetação nas regiões mais distantes da urbanização.

O crescimento urbano na beira do Rio Benfica, em 2011 era contido e tendo mais aparecimento na cidade de Ananindeua, já no ano de 2021, onde a ocupação do solo houve uma expansão expressiva também em Ananindeua como em Marituba, assim como na parte norte de Benevides, principalmente em Áreas de Preservação Permanente (APPs), onde torna-se ineficiente para o monitoramento hídrico da bacia (PERT et al, 2010). Não obstante, a construção de estradas é um fator primordial para o avanço territorial, perdendo revestimento vegetal, logo a prevalência de Áreas Urbanizadas ao longo da BR-316 e locais adjacentes são dominantes, principalmente na expansão do município de Benevides, Marituba e Ananindeua no ano de 2021.

Analisando o desempenho da região e suas vivências, os municípios Marituba e Benevides foram os que mais tiveram crescimento urbano, principalmente ao longo da rodovia, e por essa região possuir histórico de políticas públicas voltadas ao crescimento por meio de atividades agropecuárias e extrativistas (ARAÚJO, 2015), é evidente que tais políticas tiveram influências na cobertura vegetal, o crescimento desordenado, conflitos motivados pelo território, dentre outros.

Para Fearnside (2005), a revogação da cobertura vegetal tem como um dos motivos a integração de áreas grandes para processos produtivos, como a agricultura e pecuária. A BHRB é composta pelo município de Benevides que tem como atividades econômicas principais o extrativismo e a pecuária, assim como Marituba e Ananindeua, que são polos industriais, logo, é fundamentado possuir Solos Expostos, que diminuiram a porcentagem de existência

justamente pelo aumento das áreas urbanas; em 2011 Solo Exposto tinha 9,56%, já no ano de 2021 houve uma queda de 2,68%, totalizando 6,88%, porém a dinâmica territorial dessa classe passou a ter mais evidência na região nordeste e central da área, diferente das áreas urbanas pois já estão preenchidas de ocupações.

A classe Corpos Hídricos, pela classificação no GEE a partir de águas superficiais, tiveram uma diminuição de 1,81% do ano de 2011 para 2021, perdendo mais que o dobro de área, principalmente ao longo do rio principal da bacia, o Rio Benfica, que foi local da crescente ocupação urbana ao longo do seu trajeto em Ananindeua e Marituba. O potencial hídrico da bacia relaciona-se diretamente com o tipo de uso e cobertura do solo (TOLEDO & NICONELLA, 2002), pois a retirada de matas ciliares ao entorno do rio principal afeta diretamente a qualidade da água e seu fluxo, logo afetando a distribuição da água para a permeabilização do solo, este último ocasionado pelo crescente aumento da intervenção humana no meio ambiente, como mostram os mapas e o crescimento da urbanização nesta região.

## 4 CONCLUSÃO

Mediante os resultados e análise geral do trabalho, se pode observar as características da bacia hidrográfica e o uso do solo com cobertura vegetal através de técnicas e produtos de sensoriamento remoto em conjunto com SIG, através das análises espaço-temporal e dos mapas criados. Assim, a maior concentração na bacia hidrográfica do Rio Benfica continua sendo a classe vegetação, porém com uma diminuição evidente perante o crescimento das áreas urbanas, espalhando o solo exposto por toda a dimensão do espaço desse estudo.

Através do mapa de uso e cobertura do solo pode se observar a dinâmica territorial da área de aproximadamente 134 ha, e com isso avaliar o processo de expansão urbana para perto do rio principal e seus afluentes, havendo diminuição dos corpos hídricos superficiais, deixando várias APP's degeneradas e apontando uma condição desfavorável para a contaminação dos cursos de água no Rio Benfica.

É necessário um planejamento urbano e ambiental onde ocorra contribuições para diligências pertinentes, com políticas públicas apropriadas e programas socioambientais para estímulo da conservação dos recursos naturais da bacia, com suporte de fiscalização baseado na legislação ambiental e nos parâmetros de vivência do território.

## Referências

ALVES, D. S. O processo de desmatamento na Amazônia. Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. **In Parcerias Estratégicas**, n. 12, p.259-275, 2001.

BDGEx. **Banco de Dados Geográficos do Exército. Carta Topográfica Vetorial de Belém** - SA22-X-D-III. Escala 1:100.000. Disponível em < <https://bdgex.eb.mil.br/bdgexapp/mobile> > Acesso em: 02 jul. 2022.

CARDOSO, A. C. D. **A estrutura sócio-espacial da Região Metropolitana de Belém:**

**reflexões sobre a distribuição dos tipos sócio-ocupacionais de 1990 a 2000.** Novos Cadernos NAEA, Belém, v. 10, n. 1, p. 143-183, 2008.

DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (Org.). **O Processo de Urbanização no Brasil.** 1. ed. reimp., São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2004.

ESPINDOLA, G. M. de. et al. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Applied Geography**, v. 32, n. 02, p. 240-252, 2012.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v.1, p. 115-123, 2005.

FRANCA, Dalvino Troccoli. **A importância da cultura na gestão das águas doces: aspectos introdutórios.** Revista Conviver. Edição especial 100 anos DNOCS, out., 2009. 433. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/artigos> >. Acesso em: 02 jul. 2022.

GONÇALVES, E. D., SANTOS, M. D. L. S., SOARES, J. A. C., DE SOUZA, P. H. N., MOURÃO, F. V., CASTRO, K. F., SOUSA, A. C. S. R., 2015. **Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA).** Boletim Técnico Científico do CEPNOR 15, 43-50

GORELICK, N, HANCHER, M., DIXON, M., ILYSHCHENKO, S, THAU, D., & MOORE, R. (2017). **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.** Remote Sensing of Environment, v. 202, p. 18-27

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 01, p. 159-174, 1977.

Lei Complementar Estadual n. 027, de 19 de outubro de 1995

LU, D. et al. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 2365-2401, 2004.

MOTA, S. **Preservação de Recursos Hídricos.** Rio de Janeiro: ABES, 1998.

PARÁ, 2001. **Lei nº 6.381**, de 25 de julho. Dos planos de recursos hídricos. Disponível em < <https://www.semas.pa.gov.br/2001/07/25/9760/>>. Acesso em: 02 jul. 2022.

PERT, P. L.; BUTLER, J. R. A.; BRODIE, J. E.; BRUCE, C.; HONZAK, M.; KROON, F. J.; METCALFE, D.; MITCHELL, D.; WONG, G. A catchment-based approach to ambiente & educação ISSN-1413-8638 E-ISSN - 2238-5533 v. 21, n.2,p. 87-107, 2016 Edição Especial V

CBEAAGT 106 mapping hydrological ecosystem services using riparian habitat: a case study from the Wet Tropics, Australia. **Ecological Complexity**, v. 7, p. 378-388, 2010

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**, 5ª ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, Washington, D.C., 1973. **Proceedings...** Washington, D.C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1974. p. 309-317

TOLEDO, L. G.; NICONELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

TRINDADE JR. S. C; **A cidade dispersa: os novos espaços de assentamentos em Belém e a reestruturação metropolitana**. São Paulo, Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1998.

SEMA, 2012. **Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará**/Secretaria de Estado de Meio Ambiente - Belém, 2012.