



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

IZABELE CRISTINA DANTAS DE GUSMÃO

**IMPACTOS DA MUDANÇA DO USO DO SOLO SOBRE OS SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-
AÇU**

ANGICOS

2021

IZABELE CRISTINA DANTAS DE GUSMÃO

**IMPACTOS DA MUDANÇA DO USO DO SOLO SOBRE OS SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIANCÓ-PIRANHAS-
AÇU**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos
Fernandes, Prof. Dr.

ANGICOS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G982i Gusmão, Izabele Cristina Dantas de .
IMPACTOS DA MUDANÇA DO USO DO SOLO SOBRE OS
SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU / Izabele Cristina Dantas
de Gusmão. - 2021.
45 f. : il.

Orientador: Rogério Taygra Vasconcelos
Fernandes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2021.

1. Recursos hídricos. 2. Escassez hídrica. 3.
Mapeamento multitemporal. 4. Sensoriamento
remoto. 5. Valoração econômica. I. Fernandes,
Rogério Taygra Vasconcelos , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

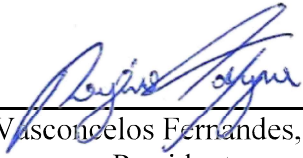
IZABELE CRISTINA DANTAS DE GUSMÃO

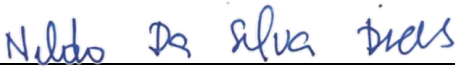
**IMPACTOS DA MUDANÇA DO USO DO SOLO SOBRE O FORNECIMENTO
DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 17 / 11/ 2021.

BANCA EXAMINADORA


Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente


Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

OSVALDO NOGUEIRA DE SOUSA
NETO:02352207363
Osvaldo Nogueira de Sousa Neto, Prof. Dr. (UFERSA/ANGICOS)
Membro Examinador

Assinado de forma digital por OSVALDO NOGUEIRA
DE SOUSA NETO:02352207363
Dados: 2021.11.24.13:50:00 -03'00'

Dedico este trabalho aos meus pais, Irani Dantas de Gusmão e Antônio Dantas de Gusmão, por todo apoio durante todos os anos de graduação me dando forças para continuar em meio às dificuldades e aos meus avós Deusamar Dantas dos Santos Lima e Inácio Vicente de Lima (*in memoriam*), que foram a inspiração para que buscasse realizar todos meus sonhos e objetivos. É por vocês e para vocês!

AGRADECIMENTOS

“*Mostrar-se grato ou reconhecido por benefício recebido*”, este é o significado da palavra agradecer. Julgo e acredito que o mais belo sinal de gratidão não é estar presente diariamente com o outro, mas sim, cuidar e zelar por alguém.

Início agradecendo a **Ele**, aquele que é responsável por minha existência, por me dar força, saúde e sabedoria para que pudesse enfrentar todos os obstáculos e comemorar os bons momentos durante esses 5 anos de graduação, ao meu bom **Deus**, pois sem Ele nada seria.

Sigo agradecendo aos **meus pais**, que sempre estiveram comigo, são minha base, sempre me incentivaram e acreditaram em mim. Individualmente, agradeço ao meu **pai**, por construir em mim belos valores de dignidade e, mesmo sem perceber, me mostrar que o trabalho e esforço dignificam o homem. Agora, agradeço a mulher que mais admiro neste mundo, a minha **mãe**, ela me ensinou que a educação é o caminho e que tudo é possível, basta acreditar, correr atrás e ter fé. Eu amo vocês e tudo que faço é por vocês!

Agradeço a **minha família** em geral, os meus tios, primos, avós (*in memoriam*) que sempre estiveram comigo. Em especial, aos meus avós **Deusamar e Inácio**, que tive o prazer de viver e aprender os valores destas pessoas de um coração inigualável, que sempre me instruíram a estudar, a ter generosidade e a buscar realizar meus sonhos e se hoje, pudesse abraçar alguém, esse alguém seriam vocês, meus anjos de luz. Também não posso deixar de agradecer minha tia **Irailma** que nunca duvidou de meu potencial e é como uma mãe para mim, sempre me incentivando e com doses de sinceridade, me fazendo acreditar em mim.

Todos que agradei acima estiveram comigo em toda minha vida, mas, na estrada da vida encontramos pessoas que são como anjos e nos apoiam nos momentos difíceis e dão risada nos bons momentos, estes são os nossos **amigos**. Não posso deixar de agradecer àqueles que tenho desde 2012, meu grupinho 5/5, **Yara, Claudiele, Marcos e Laura** que sempre me abraçam, me acolhem e acalentam. Aos meus amigos incríveis que tive o prazer de dividir estes anos de graduação e hoje, são como irmãos para mim: **Alessandra, Mariane, Alison, Vinicius, Kaio, Débora, Adna, Júlia, Lárissa, Vánessa e Ráyssa**, dentre outros diversos que tive a honra de dividir meus dias (e até noites), obrigada por TUDO. As mais recentes, mas não menos especiais, minha dupla das 7 A.M, **Andréa e Aline**, vocês chegaram do nada e hoje, tem um espacinho lindo no meu coração. Saibam que todos vocês são muito especiais para mim!

Não posso deixar de agradecer a uma pessoa especial, que fez parte da minha vida e hoje é um de meus amigos e que nada que passamos irá se perder. Meu sincero agradecimento a **Rafael Araújo**, que sempre acreditou, confiou, me deu forças para seguir e esteve comigo

nos momentos mais difíceis e não soltou minha mão. Muito obrigada, Rafa. Você tem parte disso!

Não poderia deixar de agradecer a todos meus colegas, amigos e parceiros de projetos de pesquisa e extensão no qual participei em toda graduação, aqui cito: as meninas do MAMBI – pertencentes ao **PET**, ao grupo de pesquisa e extensão do **Programa Acesso à Terra Urbanizada**, a **Consolida Engenharia**, aos colegas do **EKOSAL** e a todos os integrantes do **LAPPA**. Foi um prazer trabalhar com cada um e aprendi muito com vocês!

Agradeço ao meu orientador e amigo **Rogério Taygra**, pelo apoio, paciência, conselhos dados, por toda colaboração não só no TFG, mas nos projetos que desenvolvemos em conjunto durante a graduação. Obrigado por confiar em mim e por me apresentar o mundo da pesquisa. Saiba que você é mais que um professor, é um grande mestre!

Por fim, agradeço a toda equipe da **UFERSA** – corpo docente, técnicos administrativos e todas as pessoas que contribuem e fazem parte desta grande família – nunca me esquecerei dos anos incríveis que passei em Angicos/RN. Meu mais sincero OBRIGADA! Gratidão a todos.

Bem, finalizo aqui meus agradecimentos com o coração cheio de gratidão e pronta para alçar novos voos.

RESUMO

A gestão de Recursos Hídricos está intimamente relacionada com as condições e conservação das bacias hidrográficas e os serviços ecossistêmicos por elas gerados. Diante disso, objetivou-se das condições de uso e ocupação do solo na prestação de serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu. O estudo iniciou-se com a coleta e processamento das imagens de satélite da área da bacia estudada utilizando o software QGis para um período de 30 anos, avaliando-se a cada 5 anos. Com o mapeamento da área, realizou-se a classificação por meio do *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), identificando áreas de: Vegetação Florestal, Vegetação Campestre, Corpos d'Água e Solo Exposto/Área Urbanizada. A partir da identificação das classes de uso do solo, pode-se obter a quantificação das áreas e avaliar as variações temporal ocorridas, identificando os serviços ecossistêmicos prestados pela bacia bem como as variações em termos monetários devido as alterações no uso e ocupação do solo. A análise dos resultados indicou que houve mudanças em todas as classes de uso e cobertura do solo ao longo de 30 anos sendo a maior redução observada nos Corpos d'Água, em 42%, podendo-se inferir que gestão dos recursos hídricos é imprescindível para o planejamento das bacias hidrográficas. Vale destacar também que foram identificados 17 tipos de serviços ecossistêmicos, sendo 11 com função de regulação, 3 na função de provisão e 3 de caráter cultural oferecidos pela bacia hidrográfica e ao realizar a valoração destes, notou-se uma redução de aproximadamente 24% no valor dos serviços oferecidos, que em 1989 representavam U\$ 1.970.640,38 e em 2019, U\$ 1.509.825,52 em valores monetários. As medidas de gestão e planejamento dos recursos hídricos e do uso do solo a fim de mitigar os efeitos negativos provenientes da utilização indevida dos recursos naturais.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Escassez hídrica. Mapeamento multitemporal. Sensoriamento remoto. Valoração econômica.

ABSTRACT

The management of Water Resources is closely related to the conditions and conservation of watersheds and the ecosystem services they generate. Therefore, the objective was the conditions of land use and occupation in the provision of ecosystem services in the hydrographic basin of the Piancó-Piranhas-Açu river. The study began with the collection and processing of satellite images of the studied basin area using the QGis software for a period of 30 years, being evaluated every 5 years. With the mapping of the area, the classification was carried out through the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), identifying areas of: Forest Vegetation, Prairie Vegetation, Water Bodies and Exposed Soil / Urbanized Area. From the identification of the land use classes, it is possible to obtain the quantification of the areas and evaluate the temporal variations that occurred, identifying the ecosystem services provided by the basin as well as the variations in monetary terms due to changes in land use and occupation. The analysis of the results indicated that there were changes in all classes of land use and occupation over 30 years, with the greatest reduction observed in Water Bodies, with 42%, it can be inferred that the management of water resources is essential for the planning of river basins. It should also be noted that 17 types of ecosystem services were identified, 11 with a regulatory function, 3 with a provision function and 3 of a cultural nature offered by the river basin. value of the services offered, which in 1989 represented U\$1,970,640.38 and in 2019, U\$1,509,825.52 in monetary values. Management and planning measures for water resources and land use in order to mitigate the negative effects resulting from the misuse of natural resources.

Keywords: Water resources. Water shortage. Multitemporal mapping. Remote sensing. Economic valuation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de bacia hidrográfica.....	15
Figura 2 - Relação entre cobertura do solo e infiltração e escoamento de água	16
Figura 3 - Categorias dos Serviços Ecossistêmicos	19
Figura 4 - Processo de obtenção de imagens por sensoriamento remoto	23
Figura 5 – Faixas do Espectro Eletromagnético.....	24
Figura 6 - Localização da bacia hidrográfica	26
Figura 7 - Assinatura espectral de amostras de vegetação	28
Figura 8 - Imagem demonstrativa de verificação de acurácia (Ano – 1989)	29
Figura 9 – Resultado da verificação da acurácia (Ano – 1989)	29
Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (1989).....	32
Figura 11 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (1993).....	33
Figura 12 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (1999).....	33
Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2004).....	34
Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2009).....	34
Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2014).....	35
Figura 16 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2019).....	35
Figura 17 – Tipos de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica	36
Figura 18 - Médias anuais de precipitação na bacia hidrográfica na porção territorial pertencente ao estado do Rio Grande do Norte	38
Figura 19 - Médias anuais de precipitação na bacia hidrográfica na porção territorial pertencente ao estado da Paraíba	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Bandas utilizada para o processamento	27
Tabela 2 - Valores de índice Kappa.....	28
Tabela 3 – Biomas equivalentes para as classes de uso e ocupação do solo na bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu e seus respectivos coeficientes conforme Costanza <i>et al.</i> (1997).....	30
Tabela 4 – Área correspondente ao uso do solo da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu.....	36
Tabela 5 – Mudanças em área e percentual quanto ao uso do solo da Bacia Hidrográfica.....	39
Tabela 6 - Serviços Ecossistêmicos identificados na bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu.....	40
Tabela 7 – Estimativa do valor total dos serviços ecossistêmicos providos pela bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu através do uso e cobertura da terra nos anos de 1989 e 2019	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	BACIA HIDROGRÁFICA	15
3.1.1	Gestão de Recursos Hídricos	16
3.2	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	17
3.2.1	Funções e Categorias de Serviços Ecossistêmicos	18
3.2.2	Valoração por Serviços Ecossistêmicos	20
3.3	GEOPROCESSAMENTO E USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	21
3.4	SENSORIAMENTO REMOTO	23
4	METODOLOGIA	26
4.1	ÁREA DE ESTUDO	26
4.2	CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS	27
4.3	VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS	28
4.4	IDENTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	ANÁLISE DO USO E COBERTURA DO SOLO	32
5.2	USO E COBERTURA DO SOLO E CARACTERIZAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	39
5.3	VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42

1 INTRODUÇÃO

Em 1988, através da promulgação da Constituição Federal, a água tornou-se um bem de domínio público, sendo de competência da União legislar sobre ela (BRASIL, 1988). A partir disso, em 1997 a Lei Nº 9.433 foi instituída e com isso as bacias hidrográficas, que são territórios delimitados por divisores de água cujos cursos d'água convergem para um único ponto, localizado no ponto mais baixo da região, foram adotadas como unidades de gestão das águas através da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

As mudanças ocorridas no modo de vida das sociedades humanas, partindo de um princípio nômade para vidas sedentárias, desenvolvendo técnicas para sobrevivência em uma área escolhida provocaram impactos nos ambientes naturais devido a exploração dos recursos naturais. O consumo desenfreado tem causado inúmeras interferências na natureza, como em alterações na qualidade de água, impermeabilização do solo, erosão e assoreamento em cursos d'água, entre outros (MORAIS, 2015).

Os impactos socioambientais negativos advindos da ação antrópica nos ecossistemas, torna-se necessária a gestão sustentável dos recursos naturais. Um dos pontos principais para preservação ambiental ocorre devido ao papel dos chamados “serviços ecossistêmicos”, benefícios proporcionados pelos ecossistemas à sociedade, seja de forma direta ou indireta, podendo-se mencionar: provisão de água e alimentos, regulação do clima, controle de erosão, atividades de lazer e recreação, entre outros fundamentais para existência e qualidade de vida do homem no planeta (ARAÚJO et al., 2018).

Considerando o baixo índice pluviométrico anual da região do semiárido do Nordeste, torna-se de fundamental o planejamento eficiente e a gestão sustentável dos recursos hídricos. Neste sentido, estudos de mapeamento que identifique de uso e ocupação do solo são instrumentos importante na tomada de decisões sobre as políticas de gestão sustentável das bacias hidrográficas a fim de contribuir para preservação dos ecossistemas e conservação dos serviços oferecidos à sociedade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho teve como objetivo identificar a variação das transformações temporais ocorridas na paisagem da bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu decorrente do uso e ocupação do solo na prestação de serviços ecossistêmicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

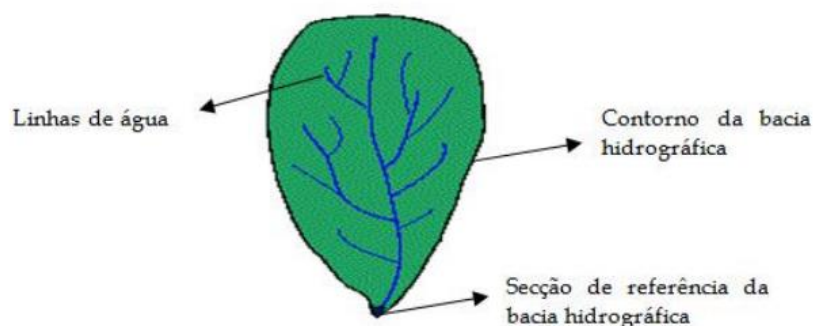
- Identificar por imagens de satélite as mudanças da paisagem na área de estudo para um período de 30 anos;
- Realizar avaliação multitemporal do processo de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica;
- Analisar e quantificar os impactos que as mudanças ocorridas proporcionam nos serviços ecossistêmicos oferecidos pela bacia hidrográfica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Naghattini (2001) define bacia hidrográfica como uma unidade fisiográfica cuja área é definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou sistema interligado de cursos ou linhas de água tal que todos são descarregados em um único ponto, chamada de seção de referência da bacia hidrográfica ou exutório, Figura 1.

Figura 1 - Esquema de bacia hidrográfica



Fonte: Guimarães (2017).

A caracterização fisiográfica da bacia tem grande importância para o estudo do comportamento hidrológico e são consideradas características fisiográficas – de **geometria, sistema de drenagem, relevo, geologia, uso do solo e cobertura vegetal** – aquelas obtidas por meio de cartas, fotografias aéreas ou imagens de satélite (GUIMARÃES, 2017).

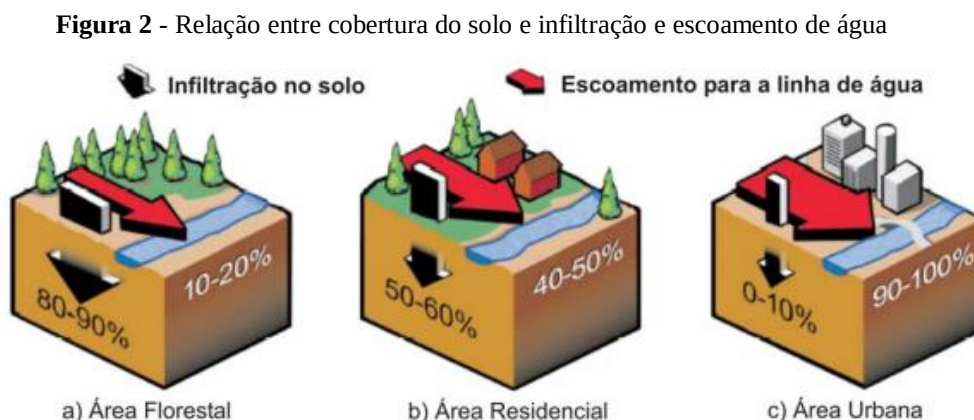
Guimarães (2017) detalha a caracterização fisiográfica de bacias hidrográficas em:

- Quanto às características de geometria, pode-se mencionar parâmetros como: área de drenagem, que corresponde à área em projeção horizontal da bacia hidrográfica; e forma da bacia que possui outros fatores atrelados, como a tendência a cheias, o quão circular e compacta é a bacia;
- Referindo-se ao sistema drenagem se pode definir a constância do escoamento, definindo os cursos d'água em perenes, intermitentes ou efêmeros; a definição do quão bifurcado ou ramificados são os cursos d'água pertencentes à bacia hidrográfica, obedecendo à classificação de Horton-Strahler; e a densidade de drenagem destes cursos d'água;

- As características de relevo têm forte influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, definindo em outros fatores como precipitação e evapotranspiração, assim como a velocidade de escoamento superficial;
- Por fim, para completa caracterização de bacias hidrográficas, menciona-se acerca da geologia, tipos de solos e cobertura vegetal. Estes três aspectos estão intrinsecamente ligados pelo fato de que conforme são as feições geológicas do local pode-se definir os tipos de solo presentes e considerando a cobertura vegetal e uso do solo, define-se o escoamento e a capacidade de infiltração, refletindo na análise do comportamento hidrográfico das bacias hidrográficas.

De acordo com Pinto (1976), existem alguns fatores intervenientes ao fluxo da água na bacia hidrográfica que podem ser: a área da bacia de contribuição, topografia da bacia (como as declividades, depressões acumuladoras e retentoras de água), as condições da superfície do solo e constituição geológica (existência de vegetação, vegetação natural, florestas ou vegetação cultivada, capacidade de infiltração do solo e tipos de rochas) e a existência de obras de controle e utilização das águas a montante da seção.

A Figura 2 demonstra a correlação existente entre os tipos de cobertura do solo, a taxa de infiltração de água e consequente escoamento para a linha de água.



Fonte: Mata-Lima (2007).

3.1.1 Gestão de Recursos Hídricos

As bacias hidrográficas, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais sofrem grandes alterações, principalmente pela impermeabilização excessiva do solo, gerando mudanças na vazão dos cursos d'água, redução de áreas para infiltração das águas pluviais, escoamento

superficial acelerado e consequente aumento na frequência de enchentes, ocasionando na redução da quantidade e qualidade dos recursos hídricos e em consequentes mudanças nas condições de vida da população. O planejamento ambiental destas bacias hidrográficas, pode ser realizado com o auxílio de propostas como a análise de fragilidade ambiental, cenários ambientais e zoneamento, em conjunto com a legislação ambiental através de estratégias e programas que associem aspectos ambientais, políticos, econômicos e socioculturais (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009).

A bacia hidrográfica pode ser caracterizada por diversos aspectos, podendo ser:

- Socioeconômicos: produtor, propriedade, uso atual da terra, associativismo, práticas de manejo, produção animal e vegetal, estrutura fundiária;
- Fisiográfica: localização e descrição da área, caracterização dos solos, climática, cobertura vegetal, hidrológica, relevo, drenagem;
- Físicas: área, precipitação, pluviogramas, rede de drenagem, densidade de drenagem, tempo de concentração, entre outros (FARIA, 2013).

A gestão de recursos hídricos é a forma pela qual se deseja equacionar e resolver questões referentes à escassez relativa dos recursos hídricos, fazendo o uso adequado e visando a otimização dos recursos em benefício da sociedade. A condição fundamental para gestão dos recursos hídricos é através da motivação política para posterior implantação. Através dessa motivação, pode-se planejar o aproveitamento e controle dos recursos de forma a controlar as variáveis que afetem o planejado (SETTI, 2001).

A partir de 1997, com a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro, a bacia hidrográfica passou a ser adotada como unidade de gestão das águas, correspondendo a uma unidade geofísica delimitada, presente em todo território nacional e com diversas dimensões (FARIA, 2013). Com isso criou-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, criado pela lei supracitada e regulado pelo Decreto 2.612, de 1998, cumprindo com os objetivos de: coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos ligados ao uso da água; implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; e promover a cobrança pelo uso da água (SOUZA; SILVA; DIAS, 2012).

3.2 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Ecossistema pode ser definido como o conjunto de seres vivos de diferentes espécies que vivem em uma determinada área, interagindo entre si e com os fatores ambientais através

de fluxos de energia e matéria. É a partir do solo que se inicia estes fluxos nos ecossistemas e assim ocorrem os demais ciclos ecológicos do planeta. O processo de fotossíntese define a capacidade de sustento do ecossistema, assim como as variações de fatores como clima, temperatura, umidade interferem neste processo (VEZZANI, 2015).

As Nações Unidas na Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005) definiram Serviços Ecosistêmicos como os benefícios obtidos pelas pessoas através dos ecossistemas, podendo ser: de provisão – como alimentos e água; de regulação – como controle de enchentes e pragas; de suporte – como ciclagem de nutrientes; e culturais – como recreativos, espirituais. A variabilidade destes ecossistemas acarreta em mudanças nos estoques e fluxos ao longo do tempo, devido a fatores estocásticos, intrínsecos e extrínsecos (ANDRADE; ROMEIRO, 2009).

Andrade & Romeiro (2009) descrevem que além das características particulares de variabilidade e coevolução de cada ecossistema, estes ainda são alterados pela ação humana, através da extração de recursos naturais e devolução de resíduos, modificando consideravelmente o espaço em função da expansão do sistema econômico. Pode-se concluir, então, que os sistemas econômicos possuem impactos sobre os ecossistemas, sendo estes em função do tamanho, dimensão e da forma no qual o sistema se expande.

Os impactos de mudanças nos serviços ecosistêmicos sobre os constituintes do bem-estar são complexos pois envolvem relações de mutualidade, devido à interdependência dos processos de geração de cada serviço ecosistêmico (ANDRADE et al., 2009).

3.2.1 Funções e Categorias de Serviços Ecosistêmicos

O conceito de funções ecosistêmicas torna-se relevante pelo fato de se dar através da geração de serviços ecosistêmicos, como os benefícios diretos e indiretos obtidos pelos seres a partir dos ecossistemas (ANDRADE et al., 2009).

De acordo com a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005) as funções ecosistêmicas podem ser divididas em quatro categorias primárias, sendo:

- a) Funções de provisão;
- b) Funções de regulação;
- c) Funções de suporte e;
- d) Funções culturais.

A categoria de provisão engloba as funções que possuem capacidade de fornecer bens para o consumo humano ou de animais como a produção de água potável, de alimentos, matéria-prima para geração de energia, entre outros (GOMES; DANTAS NETO; SILVA, 2018).

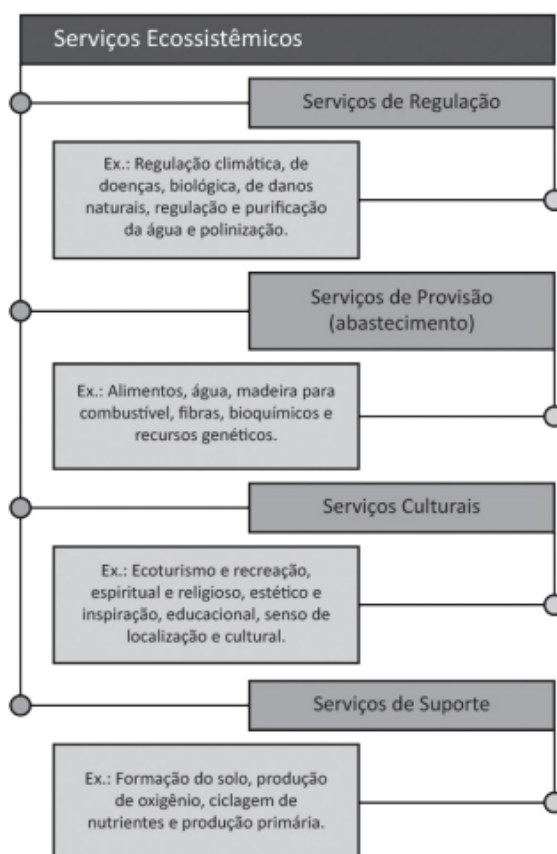
A categoria de regulação inclui serviços que possuem processos ecossistêmicos que promovem a regulação das condições ambientais, sendo essenciais para manter a vida. Pode-se mencionar: o controle de enchentes e erosão, regulação do clima, purificação da atmosfera, decomposição de resíduos orgânicos, controle de pragas e doenças, regulação de águas pluviais, entre outros.

A categoria de suporte abrange as funções que se referem à própria estrutura dos ecossistemas naturais, proporcionando o habitat de refúgio e reprodução para fauna e flora local, contribuindo para conservação da biodiversidade dos ecossistemas, garantindo a plena existência dos processos evolutivos (FERRAZ et al., 2019).

A categoria de funções culturais inclui os benefícios imateriais obtidos pelas pessoas através dos ecossistemas para seu bem-estar, como a utilização dos espaços para atividades de recreação, esportes e turismo. Também pode-se mencionar a utilização dos ecossistemas para atividades de cunho religioso, cultural e científico (MEA, 2005).

A Figura 3 traz um resumo das categorias dos Serviços Ecossistêmicos e descreve alguns exemplos práticos de cada uma.

Figura 3 - Categorias dos Serviços Ecossistêmicos



Fonte: FERRAZ et al. (2019).

Brauman et al. (2007) descrevem o caso dos serviços ecossistêmicos hidrológicos, no qual pode-se mencionar desde o abastecimento de água para uso doméstico a mitigação de danos causados por inundações. Pode-se dividir ainda em cinco categorias, como: melhorias no abastecimento de águas superficiais, melhorias no abastecimento de águas subterrâneas, mitigação de danos causados pela água, fornecimento de serviços culturais relacionados à água e serviços de suporte.

Os autores (BRAUMAN et al., 2007) mencionam alguns serviços fornecidos pela água como:

- a) Mitigação de danos causados pela água, como regulação de danos causados por enchentes, controle erosivo, regulação da infiltração de água salgada em lençóis freáticos e salinização em solos secos, sendo caracterizados por **serviços de regulação**;
- b) Os **serviços de suporte** incluem o fornecimento de água para abastecimento humano, dessedentação de animais, cultivo de plantas e formação de habitats para organismos aquáticos;
- c) Quando se trata de **serviços culturais**, pode-se mencionar o uso da água para práticas espirituais, recreação, apreciação estética e turismo.

3.2.2 Valoração por Serviços Ecossistêmicos

A valoração de serviços ecossistêmicos ocorre através da atribuição de valores econômicos aos serviços providos ao homem pelos ecossistemas, que tem sido criticado devido à simplificação do valor da natureza à valores monetários. Em contrapartida, ao se identificar e valorar os ecossistemas quanto a geração de recursos econômicos na sociedade, há um auxílio para tomadas de decisão quanto à proteção e manejo dos recursos naturais, baseando-se em valores monetários da sociedade. Vale salientar que a valoração se torna complexa pelo fato de existirem valores não monetários associados, mas que devem ser reconhecidos, tais como valores culturais, antropológicos, aspectos biológicos e ecológicos cuja compreensão é parcial (CRISTINA et al., 2017). De acordo com Andrade (2010), conhecer o valor dos serviços ecossistêmicos é necessário para sua gestão, podendo incluir, em algumas situações, incentivos econômicos para preservação.

Alfredo et al. (2015) identifica que este processo pode ser considerado como um conjunto de informações úteis necessárias para a gestão do capital natural, sendo necessária para direcionar a tomada de decisões envolvendo o uso do capital natural. A valoração atua em

conjunto com instrumentos financeiros e arranjos institucionais, possibilitando a produção de efeitos favoráveis em termos de gestão sustentável dos capitais naturais.

De acordo com o Guedes & Seehusen (2011) os valores que agentes atribuem aos ecossistemas e à biodiversidade são agrupados em três diferentes tipos: os **intrínsecos**, de **uso** e de **não uso**.

a) Os **intrínsecos** são a contribuição dos ecossistemas e da biodiversidade para se manter a saúde e integridade deste ou das espécies que ali habitam, independente da satisfação humana. Estes são baseados em valores teológicos ou éticos, não sendo captados em termos monetários;

b) Os **valores de uso** podem se ramificar em valores de uso direto, indireto ou de opção. O primeiro, são aqueles dos quais os agentes se beneficiam diretamente, como a produção de bens materiais ou não-materiais utilizados para recreação. Àqueles de valores de uso indireto são relacionados a funções que beneficiam os seres indiretamente, como a regulação do clima e controle da erosão. Por fim, os valores de opção relacionam-se com a ação de deixar uma alternativa aberta para ser utilizada futuramente, podendo se exemplificar através dos componentes da biodiversidade que são protegidos para utilização para fins medicinais futuramente.

c) Por fim, se tem os **valores de não uso** que são atribuídos por um agente, independentemente deste se beneficiar ou não de seu uso. Podem se ramificar em valores de existência e de legado. Os primeiros são atribuídos a algo que exista independente de seu uso direto, como algumas espécies da fauna e flora típicos de países com climas frios, pois estes jamais existirão em nosso país, conseqüentemente, não “utilizamos” deles. Já o valor de legado é atribuído a algo para ser conservado, pois as gerações futuras poderão se beneficiar deste.

Definidos os valores atribuídos aos ecossistemas e biodiversidade, pode-se identificar que o valor econômico total é composto pelos valores de uso e valores de não uso.

Se tem notado que os estudos de gerenciamento ambiental realizados em bacias hidrográficas apresentam vantagens diversas, devido ao fato de que as bacias são unidades que integram diversos processos naturais, sociais e políticos, considerados um método geográfico por excelência (CEZAR et al., 2012).

3.3 GEOPROCESSAMENTO E USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Através do crescente aumento populacional, processo de urbanização e modernização de técnicas agrícolas tem-se observado de forma acentuada o gradativo crescimento no uso do

solo e a partir disso, o acompanhamento e avaliação dos impactos do uso do solo sobre os ambientes naturais através de imagens de satélites sendo fundamentais para o planejamento de áreas afetadas.

O estudo do uso da terra e ocupação do solo consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações. (ROSA, 2007, p. 163)

A análise de uso e ocupação da terra é possível através dos diversos produtos provenientes do sensoriamento remoto que são obtidos por meio de sensores que estão a bordo de satélites artificiais. Através destes sensores, há um conhecimento atualizado referente ao uso e cobertura da terra, proporcionando uma importante ferramenta para auxílio e orientação às tomadas de decisão (LEITE; ROSA, 2012).

Santos (2002) afirma que com o processo de globalização, o acesso à informação se disseminou simultaneamente em todos os lugares, permitindo que os sistemas sejam mundialmente integrados. A partir disso, os sistemas técnicos propagaram-se nos países, proporcionando o avanço em tecnologias de informação e telecomunicação. Diante disso, surgiram as tecnologias de geoprocessamento atuando como revoluções tecnológicas que possibilitaram a produção de novas informações sobre o espaço geográfico.

O geoprocessamento refere-se ao conjunto de técnicas e tecnologias relacionadas à coleta e tratamento de dados espaciais, podendo-se mencionar técnicas de Sensoriamento Remoto, Cartografia Digital, Sistema de Posicionamento Global e Sistemas de Informação Geográfica (MATIAS, 2001). As representações gráficas podem estar relacionadas a dados físicos, sociais, políticos, econômicos ou de diversos aspectos, que podem ser representados através de textos ou números em tabelas. A estes dados dá-se a expressão base de dados e a organização destes dados, o banco de dados que juntos formam os Sistemas de Informações Geográficas – SIG (CORSO; BÁRBARA-CHRISTINE; SILVA, 2001).

Os SIG's têm evoluído gradativamente de acordo com as evoluções tecnológicas e em conjunto com as técnicas de sensoriamento remoto, são utilizados como ferramentas de preservação e avaliação de degradação ambiental, bem como para identificação do uso do solo nestas áreas (BORGES et al., 2011). Campos et al. (2001) descreve que as técnicas de geoprocessamento tem sido fundamentais para manutenção dos registros do uso da terra com o passar dos anos. Através das imagens de satélite pode-se avaliar as mudanças ocorridas em determinada região através dos registros da cobertura vegetal a cada período.

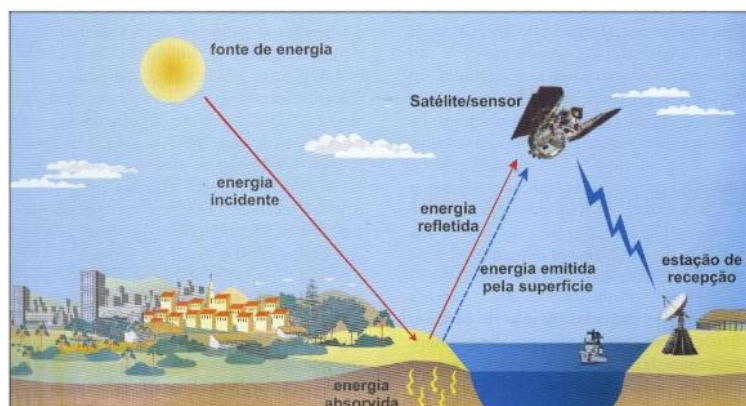
Diante disso, o desenvolvimento de um sistema que possa classificar dados sobre uso da terra, obtidos por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento tem sido amplamente discutido. Os tipos, quantidade e qualidade das informações sobre uso da terra dependem de fatores como: resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos diversos sistemas de sensores (MÁRCIA et al., 2001).

3.4 SENSORIAMENTO REMOTO

As técnicas de Sensoriamento Remoto são as ferramentas que permitem mapear, monitorar, analisar e fiscalizar extensas áreas da superfície de forma rápida e sem que haja a necessidade de idas à campo (MENESES, 2012). Estas técnicas estão intrinsecamente ligadas a utilização de sensores e processamento de dados, com o objetivo principal de reproduzir as atividades ocorridas na superfície terrestre REF.

A maioria dos sensores registram a Radiação Eletromagnética (REM) que se desloca a partir da fonte, através do vácuo ou por reflexão ou rerradiação ao sensor (Figura 4). De acordo com Jensen (2009), qualquer mudança na quantidade ou propriedade da REM, torna-se uma importante fonte de dados para interpretação dos fenômenos (temperatura, cor). Quando o sistema de sensores transforma a REM em imagens são denominados de sistemas imageadores, quando não, são não-imageadores (MORAES, 2002).

Figura 4 - Processo de obtenção de imagens por sensoriamento remoto



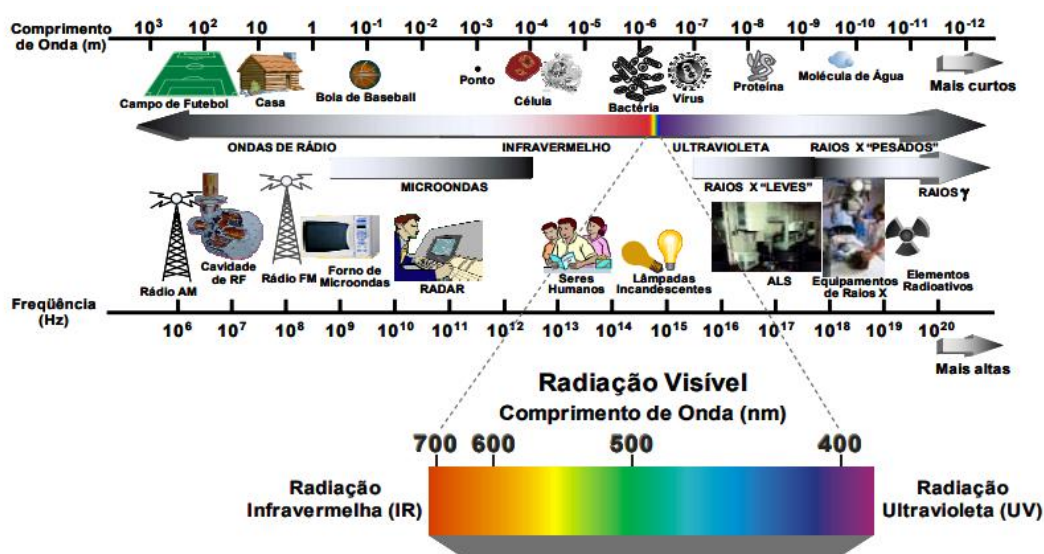
Fonte: Florenzano, p. 9 (2007).

Existem dois principais aspectos intrínsecos às técnicas de sensoriamento remoto que são: o aspecto espacial e aspecto espectral. O primeiro pode ser definido como a menor área no qual o sensor é capaz de registrar a REM, já o segundo corresponde à largura da faixa espectral

que o sensor é sensível. Pode-se também definir o domínio temporal que é o período de tempo compreendido entre duas coletas de dados sobre o terreno (MÁRCIA et al., 2001).

O conjunto de todas as radiações e ordenação destas em função de seu comprimento de onda e frequência formam o espectro eletromagnético (BORGES et al., 2011). Este pode ser dividido em dois grupos mediante ao seu alcance: o Espectro Óptico – com variações de comprimento de onda de 0,30 a 15 μ m, refletidos ou refratados com lentes e espelhos; o Espectro Reflexivo – apresenta variações de comprimento de onda de 0,38 a 3,0 μ m contido na região utilizada para o Sensoriamento Remoto (CAMPBELL, 2011). A Figura 5 apresenta em síntese o espectro eletromagnético, destacando a faixa de luz visível.

Figura 5 – Faixas do Espectro Eletromagnético



Fonte: De Queiroz (2006).

A assinatura espectral dos objetos está relacionada com o processo de interação entre eles e as feições terrestres com REM incidente. A radiação solar que incide na superfície terrestre interage de forma peculiar com cada tipo de objeto, ocorrida devido às suas composições físico-químicas destes.

Nos solos, a assinatura espectral é função da porcentagem de matéria orgânica, granulometria, composição mineral, umidade e capacidade de troca catiônica. Quando há relativo aumento no conteúdo de matéria orgânica no solo, há consequentemente um aumento na absorção espectral. Quando se tem solos de textura e granulação muito fina há o consequente incremento na reflectância. A vegetação possui, na região do visível, um pico de absorção devido ao pigmento do grupo clorofila e existem duas bandas de absorção distintas, que

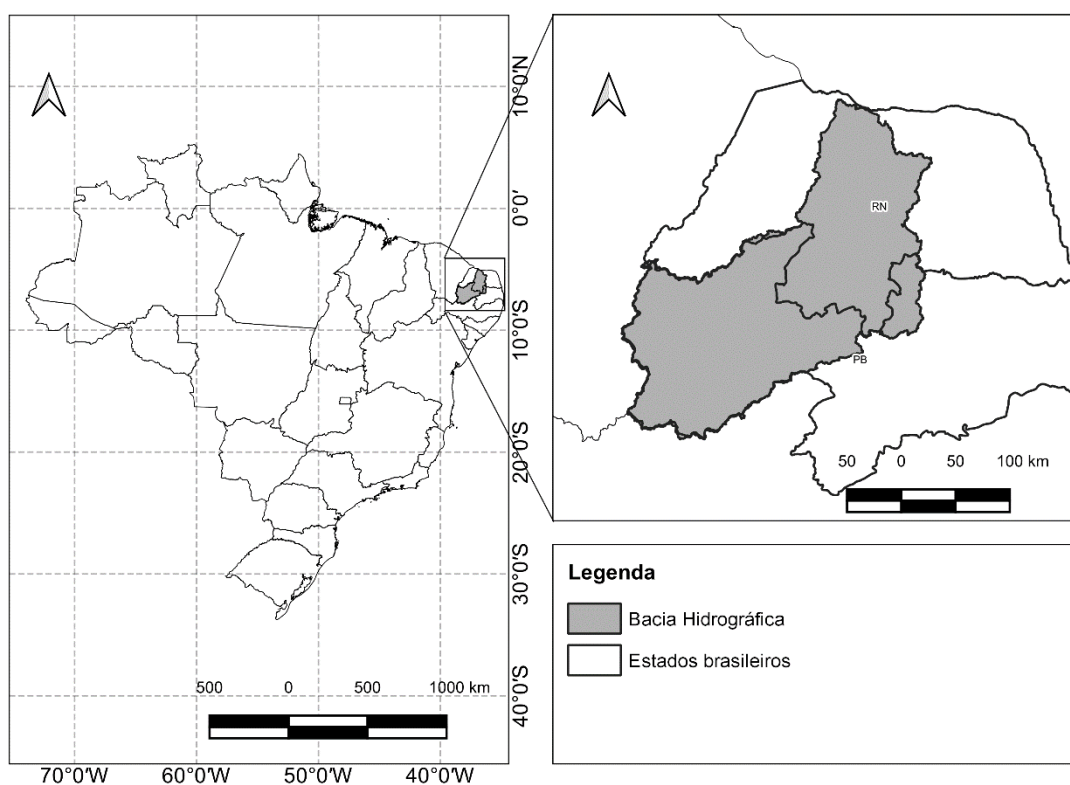
correspondem à região da cor verde do espectro visível. Quanto à água limpa, esta absorve mais luz que água suja. Na região visível, nas faixas do azul e verde, observa-se significativa reflectância deste alvo (FIGUEIREDO, 2005).

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu, que possui uma área de drenagem de 43.683 km², abrangendo os estados da Paraíba (60%) e Rio Grande do Norte (40%), na região semiárida do Nordeste brasileiro (Figura 6).

Figura 6 - Localização da bacia hidrográfica



Fonte: Autoria própria (2021).

A bacia se estende desde a nascente do rio Piancó, no estado da Paraíba até a desembocadura do rio Açu, no estado do Rio Grande do Norte, percorrendo 405 km, abrangendo de forma total ou parcial 147 municípios, sendo 100 da Paraíba e 47 do estado do Rio Grande do Norte, abrangendo uma população estimada em 1.406.808 habitantes, sendo sua maioria (69%) em centros urbanos e a minoria (31%) em áreas rurais. A taxa média de crescimento populacional na bacia entre 1970-1980 foi de 1,11% ao ano e de 2000-2010 foi reduzida a 0,61%.

De acordo com a classificação de Köppen, a bacia possui clima tropical nas porções das UPHs Piancó, Alto Piranhas e Peixe e clima árido no restante, possuindo altas taxas de evaporação, acarretando perdas significativas nas reservas e água (ANA, 2018). A região possui um padrão de precipitação de forte variabilidade interanual, apresentando alternância entre anos de chuvas regulares e anos de escassez hídrica, levando-a a ocorrência de secas hídricas (COUTINHO et al., 2019).

4.2 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS

Foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat 4-5 TM* e *Landsat 8 OLI* obtidas através da plataforma Earth Explorer, para os anos de 1989, 1993, 1999, 2004, 2009, 2014 e 2019, para uma análise multitemporal a cada 5 anos, exceto o ano de 1994 que não foi possível encontrar imagens com pouca cobertura de nuvens sendo então substituído pelo ano de 1993. As bandas utilizadas para classificação foram utilizadas conforme o Tabela 1.

Tabela 1 - Bandas utilizada para o processamento

Satélite	Banda Espectral	Resolução espectral	Composição
Landsat 4-5 TM	B1 – Azul	0.45 – 0.52 μm	Colorida – B3B2B1 Falsa Cor – B5B4B3
	B2 – Verde	0.50 – 0.60 μm	
	B3 – Vermelho	0.63 – 0.69 μm	
	B4 – Infravermelho próximo	0.76 – 0.90 μm	
	B5 – Infravermelho médio	1.55 – 1.75 μm	
Landsat 8 OLI	B2 – Azul	0.45 – 0.51 μm	Colorida – B4B3B2 Falsa Cor – B6B5B4
	B3 – Verde	0.53 – 0.59 μm	
	B4 – Vermelho	0.64 – 0.67 μm	
	B5 – Infravermelho próximo	0.86 – 0.88 μm	
	B6 – Infravermelho médio	1.57 – 1.65 μm	

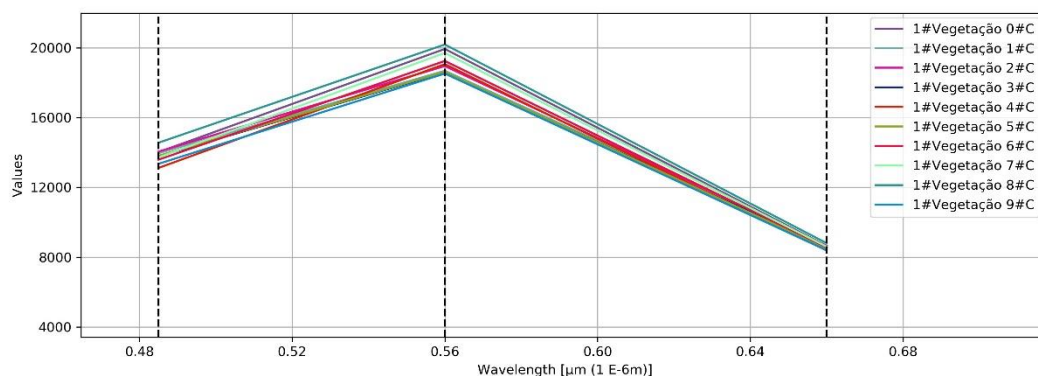
Fonte: Adaptado de Engesat (2021a, 2021b)

A partir da obtenção das imagens, estas foram importadas para o QGis 3.10.14 para elaboração dos recortes da área de estudo e mosaicos em cor verdadeira e falsa cor de cada ano a fim de se obter uma melhor precisão no processo de classificação supervisionada com o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), utilizando o classificador *Maximum Likelihood (ML)*.

Para treinamento do algoritmo de classificação foram vetorizadas 10 amostras de cada classe, através da fotointerpretação das composições RGB, que correspondem às bandas referentes às cores vermelho, verde e azul em cor natural e falsa cor e com auxílio de imagens

do Google Earth. Após a vetorização, verificou-se a assinatura espectral das amostras que deviam convergir para valores próximos, indicando que possivelmente pertenciam à mesma classe de tipo de uso do solo, como ocorrido na Figura 7. Quando as assinaturas espectrais eram semelhantes, as amostras eram dissolvidas em uma única macroamostra para posterior classificação. A padronização de cores dos resultados obtidos realizou-se através do Manual Técnico de uso da terra (IBGE, 2013).

Figura 7 - Assinatura espectral de amostras de vegetação



Fonte: Autoria própria (2021).

4.3 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Para esta etapa utilizou-se a matriz de confusão e índice Kappa presentes no complemento SCP, verificando-se a confiabilidade do resultado gerado pelo plugin. O índice Kappa varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, mais confiável será o produto gerado, conforme o Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de índice Kappa

Índice Kappa	Concordância
<0	Sem concordância
0.00 a 0.19	Pobre
0.20 a 0.39	Fraca
0.40 a 0.59	Moderada
0.60 a 0.79	Forte
0.80 a 1.00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

No QGis, para realização da validação, se fez necessário a criação de uma nova camada shapefile na forma de polígono, no qual seriam selecionadas 10 amostras de cada classe que seguidas da avaliação por meio da ferramenta de pós-processamento “Accuracy” onde a camada a ser verificada é o arquivo raster gerado pelo SCP na etapa de classificação e a referência serão as amostras em shapefile coletadas anteriormente, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Imagem demonstrativa de verificação de acurácia (Ano – 1989)

Fonte: Autoria própria (2021).

Após isso, o SCP fornece a matriz de erro que faz uma contagem dos pixels que possivelmente foram contabilizados erroneamente em uma determinada classe, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Resultado da verificação da acurácia (Ano – 1989)

> ERROR MATRIX (pixel count)							
> Reference							
V_Classified	0	1	2	3	4	Total	
0	0	0	0	0	0	0	
1	0	7687	268	0	0	7955	
2	0	15	6110	0	18	6143	
3	0	0	0	6463	0	6463	
4	0	4	59	1	4656	4720	
Total	0	7706	6437	6464	4674	25281	
> AREA BASED ERROR MATRIX							
> Reference							
V_Classified	0	1	2	3	4	Area	Wi
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	46702884333.5369	0.5167
1	0.0000	0.0447	0.0016	0.0000	0.0000	4176407156.3325	0.0462
2	0.0000	0.0006	0.2348	0.0000	0.0007	21332544467.2319	0.2360
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0083	0.0000	750199225.8597	0.0083
4	0.0000	0.0002	0.0024	0.0000	0.1901	17422510702.7335	0.1928
Total	0.0000	0.0454	0.2387	0.0083	0.1908	90384545885.6945	
Area	0	4102560798	21576429186	753890436	17248781132	90384545885	
SE	0.0000	0.0002	0.0004	0.0000	0.0004		
SE area	0	17502359	35514379	3691210	32815060		
95% CI area	0	34304624	69608182	7234771	64317518		
PA [%]	nan	98.3704	98.3385	99.5104	99.6376		
UA [%]	nan	96.6310	99.4628	100.0000	98.6441		
Kappa hat	nan	0.9647	0.9929	1.0000	0.9832		
Overall accuracy [%] = 47.7849							
Kappa hat classification = 0.4228							

Fonte: Autoria própria (2021).

O item “*Error Matrix*” detalha a contagem dos pixels que foram contabilizados erroneamente pelo plugin ou através da similaridade das assinaturas espectrais. As colunas enumeradas de 0 a 4 indicam as classes que foram identificadas (0 – Áreas Vazias, 1 - Vegetação Florestal, 2 - Vegetação Campestre, 3 - Corpos d’Água e 4 - Solo Exposto) e cada linha indica a quantidade pixels que foram contabilizados erroneamente, quanto menor a distribuição entre as categorias de uso do solo, maior a acurácia do mapa obtido.

Ao final obtém-se o valor da acurácia em números percentuais e o índice Kappa que avalia a veracidade das informações obtidas.

4.4 IDENTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Os potenciais Serviços Ecosistêmicos foram identificados através das proposições de Costanza et al. (1997), De Groot et. al (2002), MEA (2005) e Silva (2019) mediante às classes de uso e ocupação de solo caracterizadas. Para que pudessem ser reconhecidos, avaliaram-se quais atividades são realizadas na área de estudo, como serviços de: agricultura, pastagem, pesca, salinicultura, abastecimento de água, pontos de recreação, fornecimento de alimentos e suprimentos, dentre outros, e a partir desta avaliação, definiu-se quais funções ecossistêmicas podem ser fornecidas pela bacia hidrográfica.

Os valores dos Serviços Ecosistêmicos foram classificados através das categorias de uso e ocupação do solo identificadas e mapeadas na bacia hidrográfica. A valoração dos serviços foi realizada através das propostas de Costanza *et al.* (1997) e Hu, Liu e Cao (2008), conforme as equações abaixo. A Tabela 3 mostra as equivalências utilizadas e o valor por hectare por ano em US\$ para cada categoria de uso do solo.

Tabela 3 – Biomas equivalentes para as classes de uso e ocupação do solo na bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu e seus respectivos coeficientes conforme Costanza *et al.* (1997)

Classes de uso e cobertura do solo	Bioma equivalente	Valor por hectare por ano
Vegetação Florestal	Tropical forest	2.007,00
Vegetação Campestre	Grass/rangelands	232,00
Corpos d’Água	Lakes/Rivers	8.498,00
Solo Exposto	Urban	-

Fonte: Elaborado pela autora com base em Costanza *et al.* (1997).

Assim, de acordo com Hu, Liu e Cao (2008), pode-se calcular o valor total dos Serviços Ecossistêmicos em US\$ por meio da Equação 1.

$$VSE_{TOTAL} = \sum(A_k \times VC_k) \quad \text{Equação 1}$$

Onde: VSE_{TOTAL} – valor total dos serviços ecossistêmicos (em US\$); A_k – área total da classe de uso e cobertura do solo (em ha); VC_k – coeficiente de valor dos Serviços Ecossistêmicos por classe de uso (em US\$/ha.ano).

A variação absoluta (Equação 2) e relativa (Equação 3) no valor dos Serviços Ecossistêmicos para o período analisado foram obtidas através da diferença entre os valores estimados para cada categoria.

$$\Delta VSE_{absk} = VSE_{2019k} - VSE_{1989k} \quad \text{Equação 2}$$

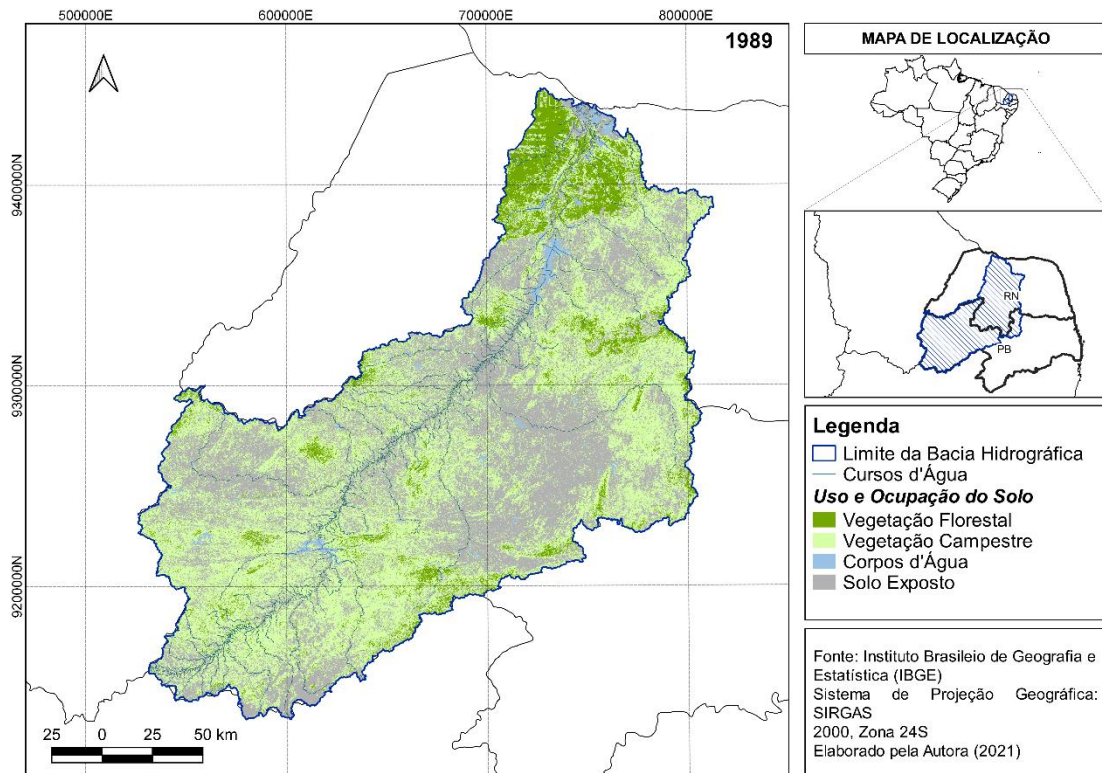
$$\Delta VSE_{relk} = \left(\frac{VSE_{2019k}}{VSE_{1989k}} - 1 \right) \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DO USO E COBERTURA DO SOLO

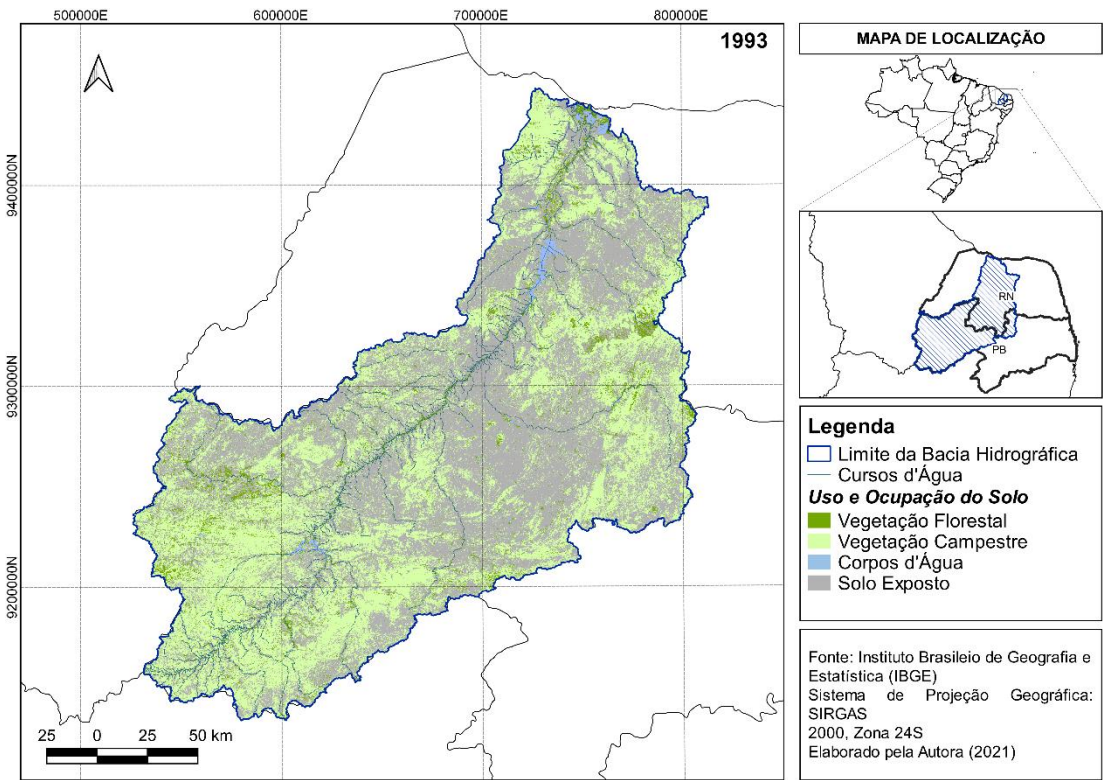
A bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu apresentou quatro tipos de classes de uso e cobertura do solo, sendo de: Vegetação Florestal, Vegetação Campestre, Corpos d'Água e Solo Exposto/Área Urbanizada que sofreram modificações perceptíveis entre os anos de 1989 e 2019. As Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 representam os mapas de uso e ocupação elaborados a cada 5 anos ao longo dos últimos 30 anos da bacia hidrográfica, demonstrando graficamente os resultados das áreas obtidas.

Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (1989)



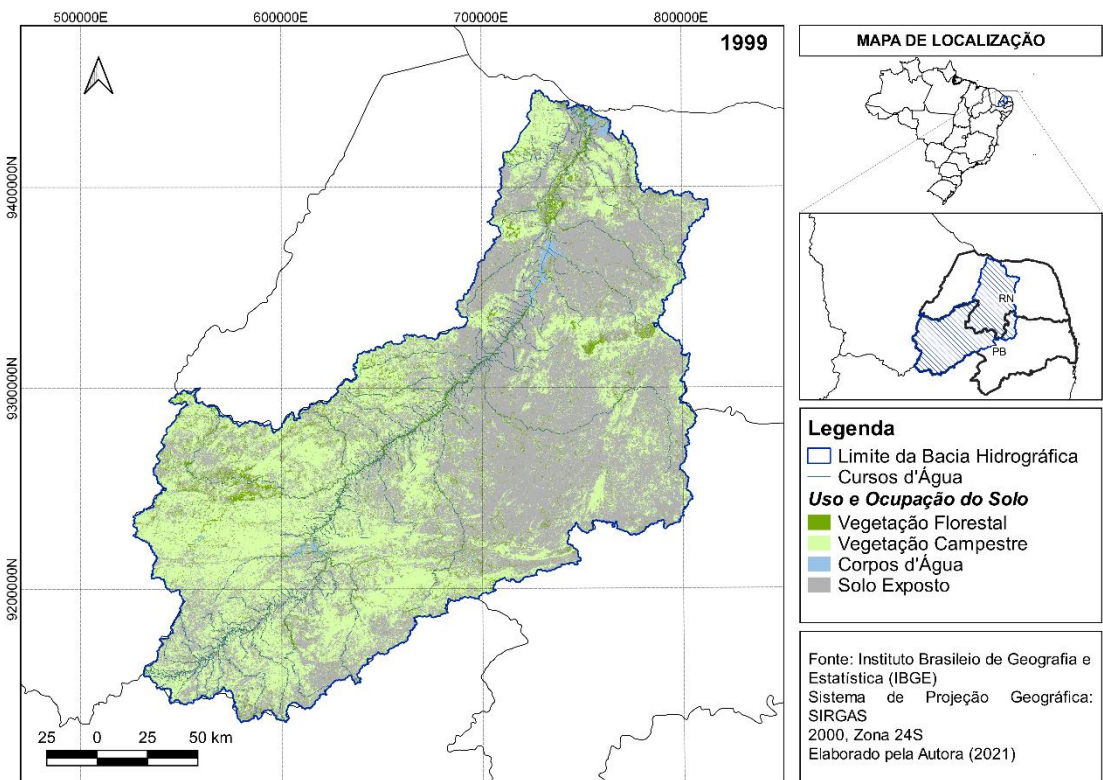
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 11 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (1993)



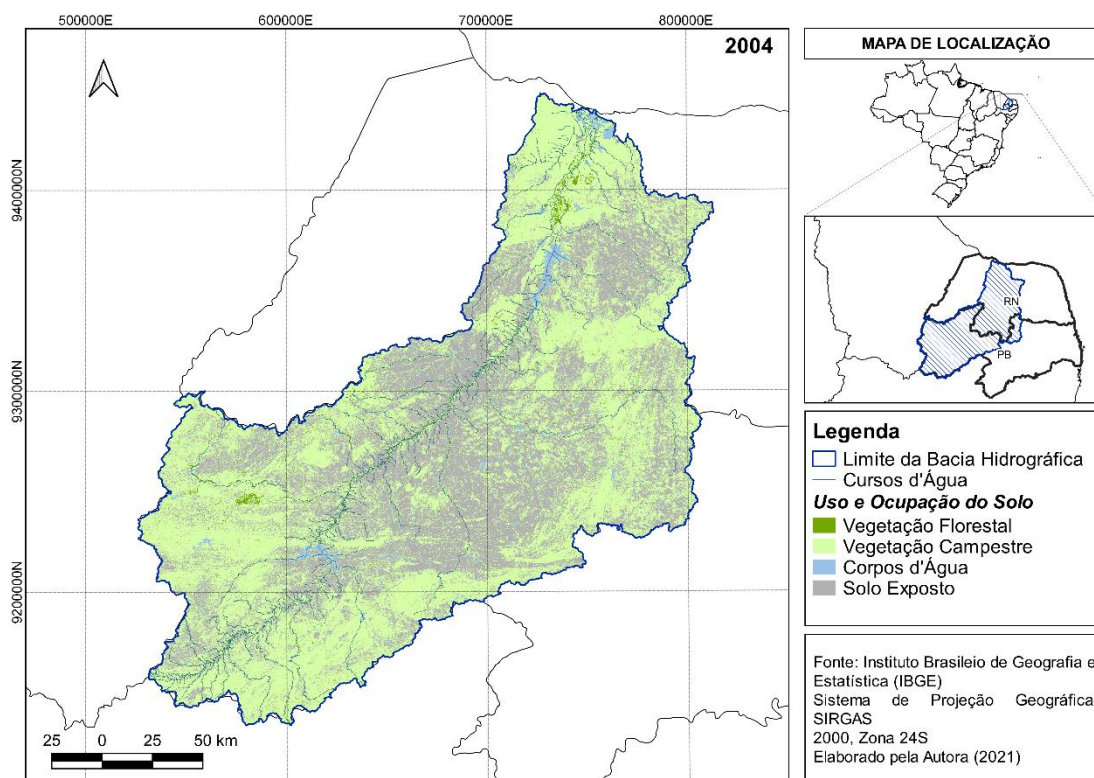
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 12 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (1999)



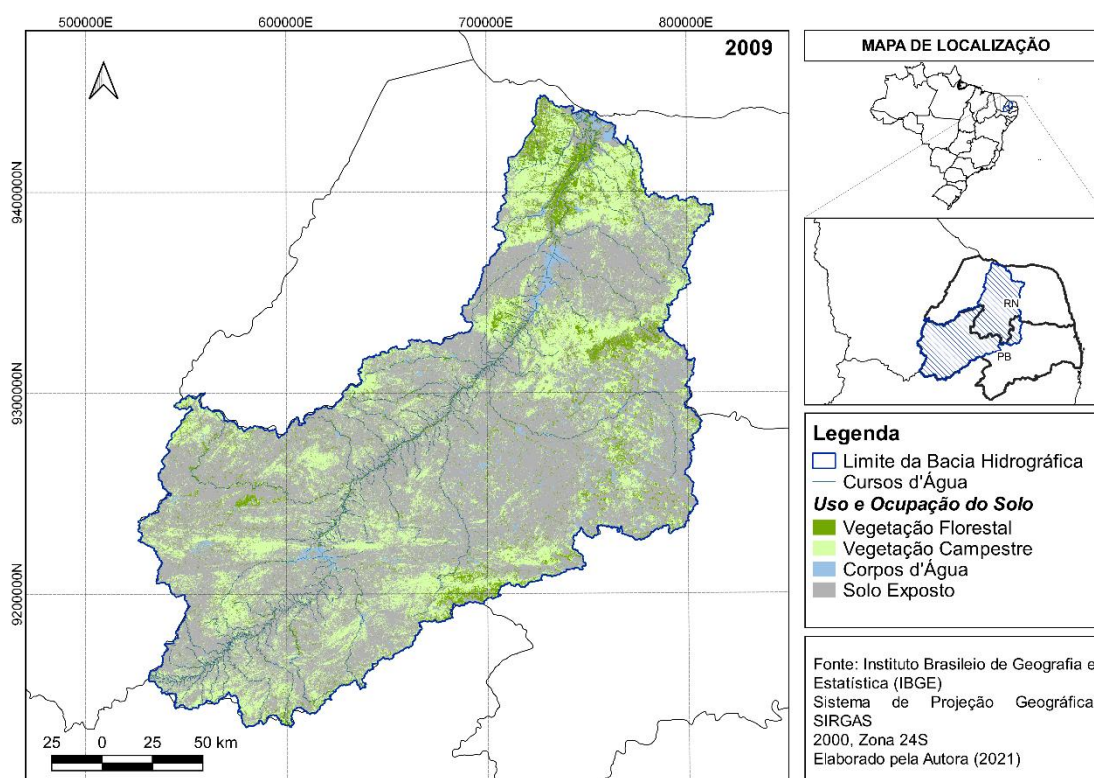
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 13 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2004)



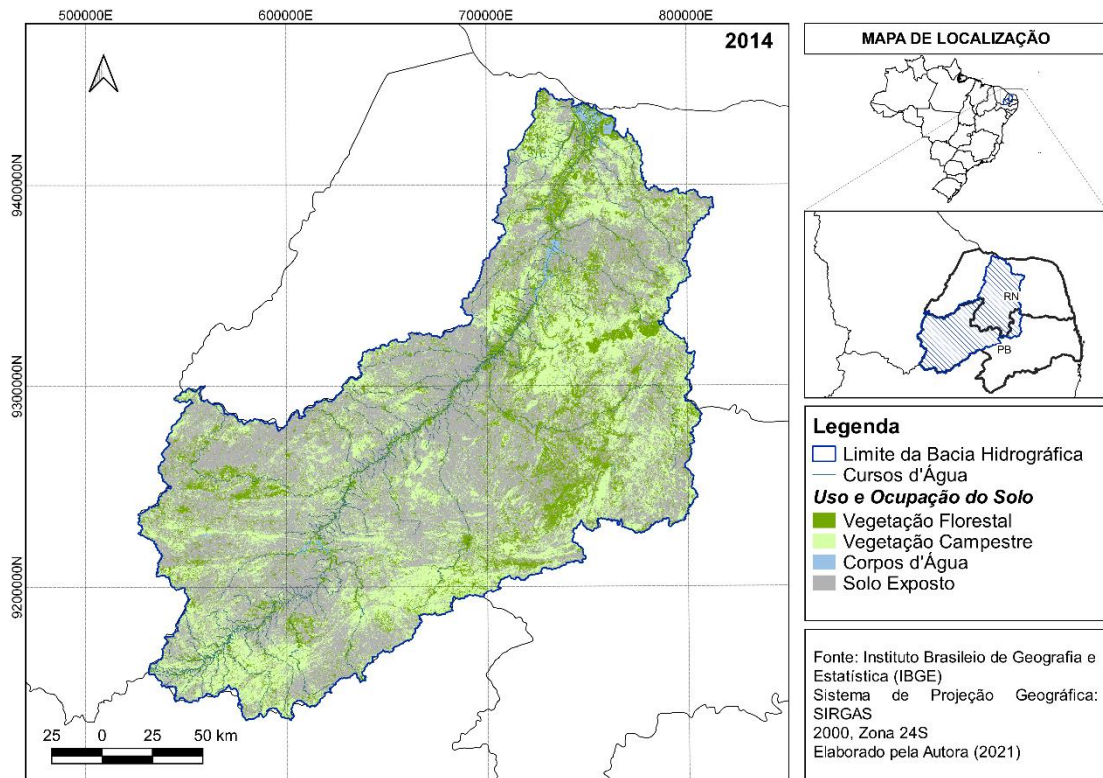
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 14 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2009)



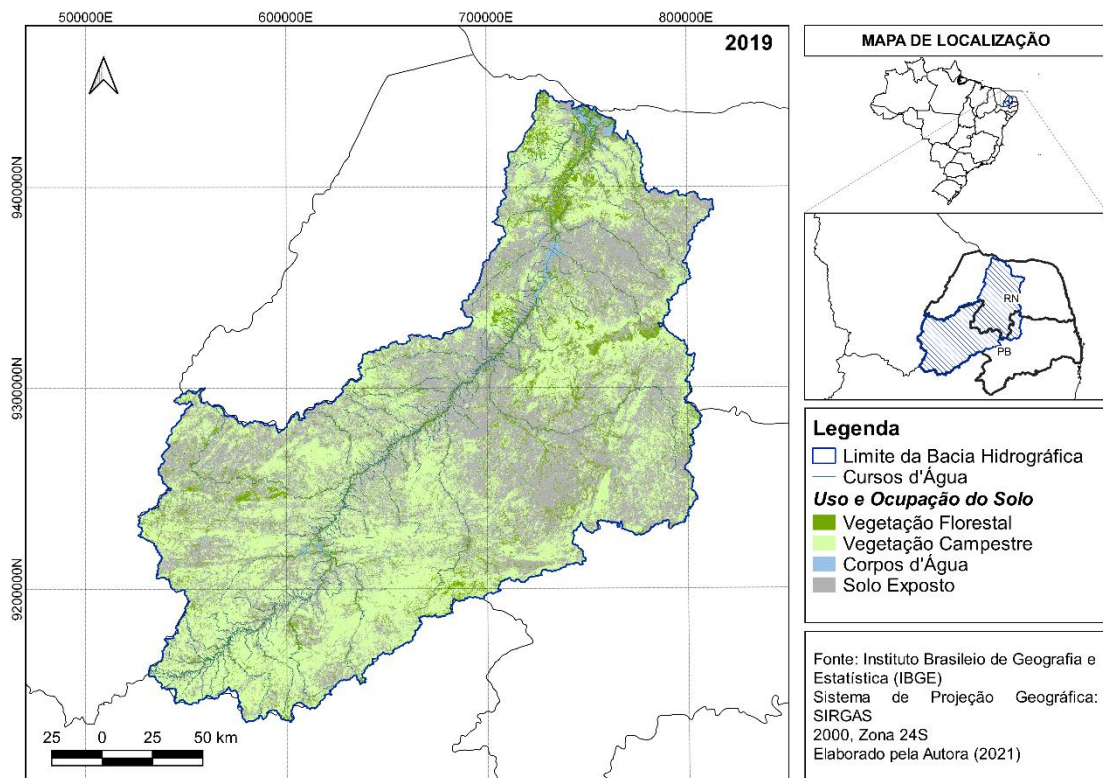
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2014)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 16 - Mapa de uso e ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu (2019)



Fonte: Autoria própria (2021).

As imagens demonstram variações em todas as classes de uso e ocupação do solo a cada ano. Estas variações de redução ou aumento a cada 5 anos, podem ser justificadas devido a inconstância quanto ao regime de chuvas, visto que à medida em que ocorrem altos índices pluviométricos, a vegetação (Florestal ou Campestre) e área de Corpos d'Água são modificadas, assim como atividades de expansão urbana intensificaram-se com o passar dos anos.

Deve-se atentar também à não existência, em diversos casos, de APP's (Áreas de Preservação Permanente), que atuam evitando o assoreamento de rios e reservatórios, transformações negativas ao leito dos corpos d'água e assim, preservando a vida aquática. Conforme demonstrado nos mapas, em diversos trechos dos cursos d'água principais, não existe a cobertura vegetal nas margens, favorecendo a ocorrência das transformações supracitadas.

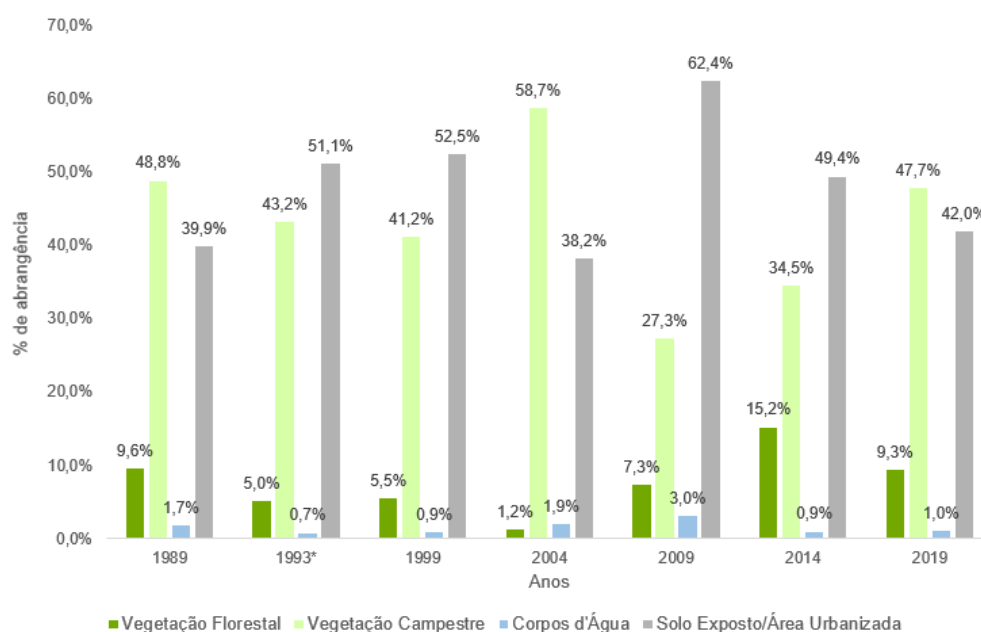
A Tabela 4 apresenta os dados quantitativos de área e a Figura 17 expressa os resultados em percentual (%) referentes a área total da bacia ocupada por cada classe.

Tabela 4 – Área correspondente ao uso do solo da Bacia Hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu

Classes de uso e cobertura do solo	Área (ha)						
	1989	1993*	1999	2004	2009	2014	2019
Vegetação Florestal	417,641	218,563	238,307	54,151	319,559	662,603	406,427
Vegetação Campestre	2133,254	1885,654	1800,179	2562,335	1193,366	1508,401	2085,630
Corpos d'Água	75,020	31,610	37,176	83,094	131,488	40,501	43,593
Solo Exposto/Área Urbanizada	1742,251	2232,339	2292,504	1668,586	2723,753	2156,661	1832,516
TOTAL	4368,166	4368,166	4368,166	4368,166	4368,166	4368,166	4368,166

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 17 – Tipos de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica



Fonte: Autoria própria (2021).

A Vegetação Campestre nos anos iniciais foi a classe mais abrangente na área da bacia hidrográfica, com percentuais acima de 40%, atingindo até 58,7% em 2004. Esta classe, inclui coberturas residuais baixas, compostas por pastagens, plantios e vegetação rasteira, entendida como áreas de Caatinga Arbustiva. A área dessa vegetação tem sido reduzida com o passar dos anos devido a ação antrópica através de sua retirada para transformação em áreas de pastagem e fornecimento de lenha às cerâmicas da região, de acordo com Silva et al. (2020).

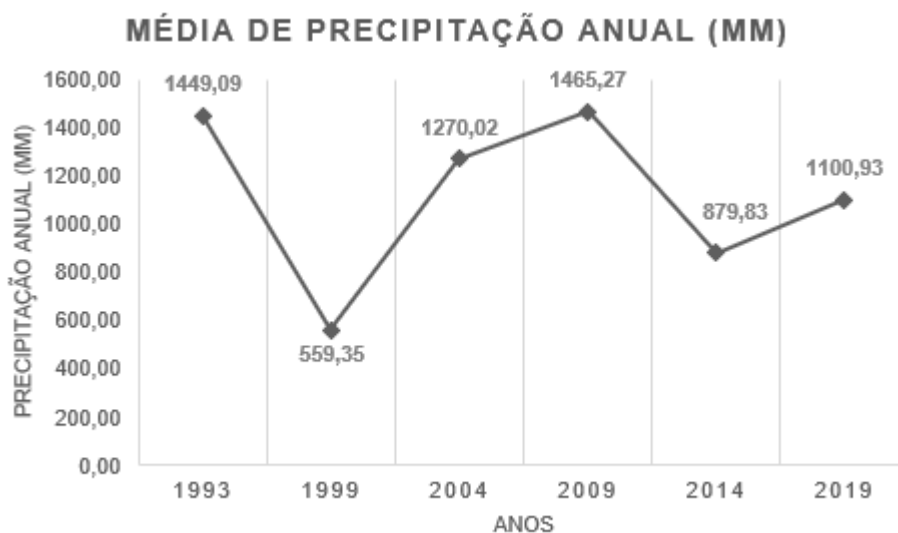
O Solo Exposto também é uma classe que assim como a Vegetação Campestre tem grande abrangência na área de estudo e em alguns anos ultrapassa os 50% de predominância. Por terem cores espectrais aproximadas, estas áreas abrangem não apenas o solo sem cobertura total, mas também as áreas urbanizadas e afloramentos rochosos. O fato de existirem grandes áreas desta categoria expõe a bacia hidrográfica a erosão hídrica, como em estudos realizados por Bruno (2017). Pedron et al. (2006) descreve que a expansão urbana produz impactos negativos ao meio ambiente, podendo-se mencionar: poluição das fontes de água, deposição de resíduos em locais inadequados, contaminação de água por metais pesados, entre outros. Pode-se denotar que a redução de áreas de Vegetação Campestre está diretamente ligada ao aumento de áreas de Solo Exposto, que está sendo convertida em áreas urbanizadas.

Em seguida, tem-se a Vegetação Florestal, que é caracterizada por uma cobertura mais densa, conferindo uma melhor proteção ao solo contra o processo erosivo, reduzindo a velocidade de escoamento superficial das águas das chuvas e promovendo a infiltração destas. No processo de caracterização, analisou-se que esta vegetação está presente no entorno dos cursos d'água e reservatórios, caracterizando as Áreas de Preservação Permanentes (APP's), que são porções de vegetação nativa que devem existir nas faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular (BRASIL, 2012), conforme o Código Florestal brasileiro.

Os dados de Corpos d'Água são preocupantes devido a ocuparem menores áreas, tendo apenas um aumento significativo no ano de 2009, que pode ser justificado devido aos altos índices de chuva em todo estado do Rio Grande do Norte e Paraíba, que foi considerado “o ano mais chuvoso da década”. Para o ano de 2019, uma década depois, o governo do estado do Rio Grande do Norte decretou situação de emergência em 148 municípios devido ao regime de escassez hídrica que perdurou por 7 anos consecutivos, correspondendo aos valores obtidos de 0,9% em 2014 e 1,0% em 2019 (RIO GRANDE DO NORTE, 2019). A redução também pode ser associada à não existência de mata ciliar em diversos pontos dos cursos d'água causando assoreamento do leito dos rios.

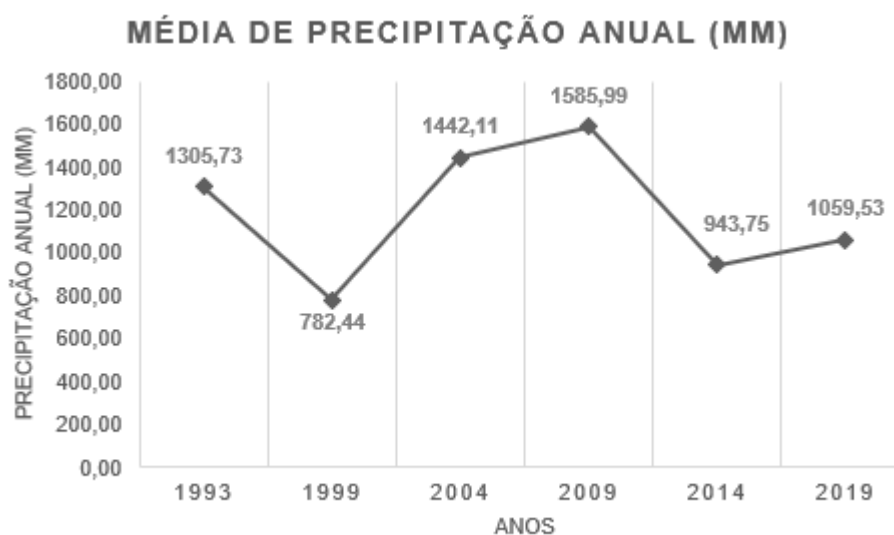
A Figura 18 denota as médias acumuladas anuais de precipitação nas porções territoriais da bacia hidrográfica pertencente ao estado do Rio Grande do Norte e a Figura 19, as médias acumuladas no estado da Paraíba para os anos de estudo validando os dados obtidos pelo mapeamento.

Figura 18 - Médias anuais de precipitação na bacia hidrográfica na porção territorial pertencente ao estado do Rio Grande do Norte



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 19 - Médias anuais de precipitação na bacia hidrográfica na porção territorial pertencente ao estado da Paraíba



Fonte: Autoria própria (2021).

Pode-se constatar que durante os anos de 1999 e 2014, anos com menores áreas de cobertura de Corpos d'Água, os índices de precipitação foram os menores em todo período estudado, e no ano de 1993 e 2009, houveram altos índices de precipitação e consequentemente, maiores áreas de cobertura de Corpos d'Água. Pode-se perceber também que com os índices de precipitação a cobertura vegetal é influenciada, visto que, quanto maior o teor de chuvas, maiores os índices de cobertura vegetal – seja a florestal ou campestre.

A Tabela 5 ilustra as modificações em área e percentual quando compara-se o ano de 1989 ao ano de análise final, 2019.

Tabela 5 – Mudanças em área e percentual quanto ao uso do solo da Bacia Hidrográfica

Classes de uso e cobertura do solo	Área (ha)		Mudança (Ha)	Mudança (%)
	1989	2019		
Vegetação Florestal	417,641	406,427	-11,214	-3%
Vegetação Campestre	2133,254	2085,630	-47,624	-2%
Corpos d'Água	75,020	43,593	-31,427	-42%
Solo Exposto/Área Urbanizada	1742,251	1832,516	90,265	5%
TOTAL	4368,166	4368,166	-	-

Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com a Tabela 5, observa-se que em quase todas as classes de uso e cobertura do solo, exceto a de Solo Exposto, houve uma redução. Analisando-se a área reduzida, pode-se afirmar que fora convertida em porções de Solo Exposto de uso indiscriminado ou de área urbanizada.

As mudanças nas classes de Vegetação Campestre e Corpos d'Água podem ser explicadas devido à escassez hídrica enfrentada pela região, influenciando tanto na cobertura vegetal quanto na capacidade de água dos reservatórios e vazão observada nos cursos d'água, sendo estas reduções convertidas em áreas de Solo Exposto/Área Urbanizada.

5.2 USO E COBERTURA DO SOLO E CARACTERIZAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

A bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu apresentou 17 tipos diferentes de Serviços Ecosistêmicos potencialmente existentes que serão quantificados. São 11 com função de regulação, 3 na função de provisão e 3 de caráter cultural, conforme detalha a Tabela 6.

Tabela 6 - Serviços Ecossistêmicos identificados na bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu

Função	Serviços	Classes de Uso e Cobertura				Área de fornecimento (ha) 2019
		Vegetação Campestre	Vegetação Florestal	Corpos d'Água	Solo Exposto/Área Urbanizada	
Regulação	Regulação de Gases	x	x	x		2535,650
	Regulação Climática	x	x	x		2535,650
	Prevenção de enchentes	x	x	x		2535,650
	Regulação das águas pluviais	x	x	x	x	4368,166
	Provisão de água para uso consuntivo	x	x	x	x	4368,166
	Prevenção de erosão ou salinização	x	x	x		2535,650
	Manutenção da produtividade do solo	x	x			2492,057
	Produtividade dos ecossistemas	x	x	x		2535,650
	Controle de poluição e desinfecção	x	x	x		2535,650
	Controle Biológico		x			406,427
	Manutenção das espécies		x	x		450,020
Provisão	Matéria-prima (fibras, madeira, plantas medicinais)	x	x	x		2535,650
	Recursos energéticos	x	x	x		2535,650
	Alimentos		x	x		450,020
Cultural	Informação estética	x	x	x		2535,650
	Recreação	x		x		2129,223
	Informação Artística e Cultural		x	x		450,020

Fonte: Adaptado de MEA (2003, 2005); de Groot et al. (2002) e Farber et al. (2006).

A bacia hidrográfica atua como um importante contribuinte no fornecimento e regulação de Serviços Ecossistêmicos e a partir das informações da Tabela 6 pode-se perceber quão significativa é a participação da vegetação nativa e dos corpos d'água na provisão destes Serviços Ecossistêmicos, que são fornecidos aos habitantes da bacia.

Conforme apresentado na Tabela 5, a classe de Vegetação Florestal é aquela que possui maior provisão de Serviços Ecossistêmicos, ofertando 16 dos 17 serviços listados, correspondendo a 94,12%. Seguido a ela está a classe de Corpos d'Água, presente em 15 serviços, sendo responsável por 88,24% dos serviços prestados pela bacia hidrográfica. A Vegetação Campestre, composta pela vegetação rasteira da bacia, é responsável pela provisão de 13 dos 17 serviços fornecidos, correspondendo a 76,47% da provisão. Por último confere à

categoria de Solo Exposto, que permite o fornecimento de apenas 2 serviços – de regulação de águas pluviais e provisão de água para uso consuntivo através da recarga de água subterrânea.

5.3 VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

A Tabela 7 discrimina os resultados calculados para o cada Serviço Ecossistêmico em função de sua área (ha). Assim, observou-se que apenas três das quatro classes contribuíram para o valor total gerado pela bacia hidrográfica em análise. Calculou-se a variação para o início do período (1989) e ano final (2019), com valores absolutos e relativos, bem como seu Coeficiente de Contribuição da Variação (CCV) expresso em dados percentuais (%).

Tabela 7 – Estimativa do valor total dos serviços ecossistêmicos providos pela bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu através do uso e cobertura da terra nos anos de 1989 e 2019

Classes de uso e cobertura do solo	Valores dos Serviços Ecossistêmicos (US\$ x 10³)				Variações			
	1989	%	2019	%	ΔVSEabsk	ΔVSErelk (%)	CCV¹ (%)	
Vegetação Florestal	838.205,49	42,53%	815.698,99	54,03%	-	22.506,50	-2,69	-1,14%
Vegetação Campestre	494.914,93	25,11%	349.949,03	23,18%	-	144.965,90	-29,29	-7,36%
Corpos d'Água	637.519,96	32,35%	344.177,50	22,80%	-	293.342,46	-46,01	-14,89%
Solo Exposto	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	1.970.640,38	100,00%	1.509.825,52	100,00%	-	460.814,86	-23,38	-23,38%

Fonte: Autoria própria (2021).

Dentre as classes observadas na área de estudo, pode-se perceber a classe de Vegetação Florestal possui maior valor de serviço ambiental. Também é importante notar a variação ocorrida na classe de Corpos d'Água que em 1989 tinha um valor monetário considerável e em 2019 reduziu em US\$ 292.342,46.

Quanto às variações relativas, nota-se uma redução de 23,38%, sendo expressivo devido ao alto valor em termos monetários (8.498,00 US\$/ha.ano). Com relação aos ganhos líquidos, obteve-se uma redução de aproximadamente 24% no valor dos serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu, contabilizados em mais de US\$ 460.814 mil em termos monetários e o maior contribuinte foi a redução nas áreas dos Corpos d'Água nos últimos 30 anos avaliados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso e ocupação da terra provocou intensos impactos sobre a bacia do rio Piancó-Piranhas-Açu ao longo do período analisado. As variações ocorridas nas condições de uso e ocupação decorreram, principalmente devido às ações antrópicas de desmatamento para retirada de madeira e para transformação de áreas vegetadas em áreas de pastagem e também devido às variações de precipitações pluviométricas, visto que em períodos de seca intensa, a cobertura vegetal é modificada e os corpos d'água são reduzidos.

Com a redução das áreas de Vegetação Campestre, Vegetação Florestal e Corpos d'Água houve uma considerável redução quanto a prestação dos serviços ecossistêmicos, motivando a impactar no valor dos serviços fornecidos pela bacia.

As mudanças ocorridas na bacia avaliada refletiram em perdas significativas de recursos econômicos que estavam diretamente ligados aos serviços ecossistêmicos antes fornecidos pela área, que com o passar dos anos através da transformação de áreas de Vegetação e Corpos d'Água em áreas de Solo Exposto/Área Urbanizada modificaram a dinâmica do ecossistema e alteraram o fornecimento de diversas funções ecossistêmicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu**: resumo executivo. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2018.
- ALFREDO, J. et al. Valoração de serviços ecossistêmicos: estado da arte dos sistemas agroflorestais (SAFs). In: **Embrapa Territorial - Documentos**. 1. ed. Campinas: 2015. v. 1p. 1–47.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e bem-estar humano**. Campinas: 2009. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/361023>>. Acesso em: 14 out. 2021.
- ANDRADE, Daniel Caixeta et al. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma 'Economia dos Ecossistemas'. **Texto para discussão**, 2009.
- ANDRADE, Daniel Caixeta. **Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos = uma contribuição da economia ecológica**. 2010. 261 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/286031>>. Acesso em: 18 out. 2021.
- ARAÚJO, I. S. et al. Identificação de serviços ecossistêmicos na praia de Ponta Negra, Natal - RN. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p.298-313, 2018.
- BORGES, A. et al. **Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento**. 2011. Disponível em: <www.inpe.br>.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433**: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.
- BRASIL. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 18 set. 2021.
- BRAUMAN, K. A.; DAILY, G. C.; DUARTE, T. K.; MOONEY, H. A. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 32, p. 67-98, 2007. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>>. Acesso em: 18 out. 2021

BRUNO, L. O. 2017. GRASS: A free and open source solution for hydrographic body analysis. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 24-30.

CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to remote sensing**. 5. ed. Guilford Press, 2011

CAMPOS, S. et al. **SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO USO DA TERRA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, BOTUCATU - SP**. 2001.

CEZAR, E. et al. **BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE GESTÃO AMBIENTAL**. v. 13, n. 2, p. 159–168, 5 ago. 2012.

CORSO, G.; BÁRBARA-CHRISTINE, P.; SILVA, N. **GEOPROCESSAMENTO E URBANISMO**. 2001.

COSTANZA, R. et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, **387**:253-260

CRISTINA, E. et al. **Manual para Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos Seleção de áreas e monitoramento**. 2017.

DE GROOT, Rudolf S.; WILSON, Matthew A.; BOUMANS, Roelof MJ. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.

DE QUEIROZ, José Eustáquio Rangel; GOMES, Herman Martins. Introdução ao processamento digital de imagens. **Rita**, v. 13, n. 2, p. 11-42, 2006.

ENGESAT (org.). **Landsat 4 e 5 TM**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>. Acesso em: 03 nov. 2021a.

ENGESAT (org.). **Landsat 8**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>. Acesso em: 03 nov. 2021b.

FARBER, Stephen et al. Linking ecology and economics for ecosystem management. **Bioscience**, v. 56, n. 2, p. 121-133, 2006.

FARIA, A. M. J. B. **Gerenciamento de recursos hídricos**. IFPI, IFPR. Ministério da Educação. Curitiba, PR, 2013.

FERRAZ, R. P. D. et al. **Marco referencial em serviços ecossistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 134 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/205733/1/Marco-Referencial-em-Servicos-Ecossistemicos-2019.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **São Paulo**, 2005.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

GOMES, A. S.; DANTAS NETO, J.; SILVA, V. F.. Serviços ecossistêmicos: conceitos e classificação. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.4, p.12-23, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0002>

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

GUIMARÃES, Rita Cabral – Capítulo 2 - Bacia hidrográfica. In **Hidrologia Agrícola**. Évora: Guimarães, R. C., Shahidian, S. e Rodrigues, C.M., 2017. ISBN 978-989-8550-40-8. Pt. 1, [s.v], p. 5-22.

HU, H.; LIU, W.; CAO, M. Impact of land use and land cover changes on ecosystem services in Menglun, Xishuangbanna, Southwest China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 156, p. 146 - 147, 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo [et al.]. – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data, Washington, USA. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012.

MÁRCIA, E. et al. **INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO**. 2001.

MATA-LIMA, Herlander et al. Hydrologic response of watershed to land use changes: integration of methods and application to a case study. Rem: **Revista Escola de Minas [online]**. 2007, v. 60, n. 3 [Accessed 31 October 2021] , pp. 525-536. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000300014>>. Epub 10 Oct 2007. ISSN 1807-0353. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000300014>.

MATIAS, Lindon Fonseca. **Sistema de Informações Geográficas (SIG): teoria e método para representação do espaço geográfico**. São Paulo: FFLCH/USP, 2001. (Tese de Doutorado)

MEA, Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis. **Island, Washington, DC**, 2005.

MENESES, P.R., MADEIRA-NETTO, J.S. **Sensoriamento remoto. Reflectâncias dos alvos** Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos –SP: INPE, 2002. Capítulo 1.

MORAIS, M. L. R. de. **Uso e Ocupação do Solo e sua relação com as características limnológicas da Bacia do Ribeirão Cafezal – Londrina/PR**. 2015. Monografia

(Graduação) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

NAGHETTINI, Mauro. **Introdução à Hidrologia Aplicada**. Universidade Federal de **naturais**. Universidade de Brasília. Brasília – DF. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. 262p. 2001.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia MG. *Revista Sociedade & Natureza (Online)*, Uberlândia, v. 21, n. 3, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v21n3/a06v21n3.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2021

PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R.S.D.; AZEVEDO, A.C.; POELKING, E.L.; MIGUEL, P. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria –RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p. 468-477, 2006.

PINTO, Nelson L. de Souza. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. Publications Inc., 2011.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 28.725, de 11 de março de 2019**. Declara Situação de Emergência nas áreas dos Municípios do Estado do Rio Grande do Norte afetados por desastre natural climatológico por estiagem prolongada que provoca a redução sustentada das reservas hídricas existentes (COBRADE/1.4.1.2.0 – Seca), e dá outras providências. Natal/RN, 12 mar. 2019. Disponível em: [ttp://diariooficial.rn.gov.br/dei/dorn3/docview.aspx?id_jor=00000001&data=20190312&id_doc=638176](http://diariooficial.rn.gov.br/dei/dorn3/docview.aspx?id_jor=00000001&data=20190312&id_doc=638176). Acesso em: 17 set. 2021.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. (Coleção Milton Santos; 1)

SETTI, Arnaldo Augusto et al. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. **Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica**, v. 328, 2001.

SILVA, B. F. et al. Análise espaço-temporal do índice de vegetação ajustado ao solo para a bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu (Rio Grande do Norte/Paraíba). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 2, 2020.

SILVA, D. A. O. **Valoração dos serviços ecossistêmicos na sub-bacia do rio Jacaré, Sergipe**. 2019. 47 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F.; DIAS, N. S. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró (RN). **Irriga**, Botucatu, Edição especial, p. 280-296, 2012.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 673–684, 2015.