UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

JOSIMAR VIEIRA DOS REIS

# PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: utilização da modelagem hidrológica e valoração ambiental como ferramentas para política ambiental em Pernambuco

Recife
2023

JOSIMAR VIEIRA DOS REIS

# PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: utilização da modelagem hidrológica e valoração ambiental como ferramentas para política ambiental em Pernambuco

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente. **Área de concentração**: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Orientadora**: Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvíncio

**Coorientador:** Prof. Dr**.** Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

Recife

2023

Catalogação na fonte
Bibliotecária Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

R375p Reis, Josimar Vieira dos.

Pagamento por serviços ambientais (PSA) em bacias hidrográficas : utilização da modelagem hidrológica e valoração ambiental como ferramentas para política ambiental em Pernambuco. / Josimar Vieira dos Reis. – 2023.

151 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora : Profª. Drª. Josiclêda Domiciano Galvíncio.

Coorientador : Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2023.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Meio ambiente. 2. Gestão ambiental – Aspectos econômicos. 3. Recursos naturais. I. Galvíncio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Leitão, Mário de Miranda Vilas Boas Ramos (Coorientador). III. Título.

363.7 CDD (22. ed.) UFPE (BCFCH2023-032)

JOSIMAR VIEIRA DOS REIS

**PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA) EM BACIA HIDROGRÁFICA: utilização da modelagem hidrológica e valoração ambiental como ferramenta para política ambiental em Pernambuco**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Aprovado em**: 15 / fevereiro / 2023

**BANCA EXAMINADORA**

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvíncio (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão (Coorientador)
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Profa. Dra. Luciana Mayla de Aquino França (Examinadora Externa)
Instituto Federal do Paraná

Profa. Dra. Maria Fernanda Abrantes Torres (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Inajá Francisco de Souza (Examinador Interno Rede PRODEMA)
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade (Examinador Externo)
Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este estudo a minha mãe Janeide Vieira dos Reis e meu pai Josué Alves dos Reis Filho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha sempre amada mãe (Janeide Vieira Dos Reis) que me ama e nunca deixou de acreditar em mim a ela devo tudo. Como também aos meus demais familiares. Agradeço a minha namorada Cynthia Patrícia, que me deu total apoio.

Agradeço aos meus professores orientadores, professora Josiclêda Galvíncio e professor Mário Miranda, pelos ensinamentos e conselhos nesta pesquisa. Os dois foram bons parceiros nessa árdua caminhada.

Aos meus grandes amigos: Tayran Oliveira, Pedro Ferreira, Elisabeth Regina, Jadson Freire, Ygor Cristiano, Henrique Ferreira, Carlos Lima, Luciana Mayla, Rodrigo Miranda, Eleonora Weber, João Antônio, Joélia Natália, Sidney Santana, Viviane Pedrosa, Michelle Valeriano, Renata Lyra, Marcos Pinto, Jean Darlan. Grato! Grato! Grato! Agradeço a Solange e Tarcisio da secretaria do PRODEMA/UFPE. Agradeço também aos professores que aceitaram participar da banca final e a todo corpo docente do PRODEMA/UFPE.

Esta pesquisa foi possível, graças ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), que financia a bolsa de estudos de doutorado processo (PBPG-1157-9.25/18), além de ter concedido o Auxílio Mobilidade Discente (AMD-0068-2.00/19) para coleta de dados em campo. Como também, agradeço à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Ao Laboratório de Sensoriamento e Geoprocessamento (SERGEO) e ao Laboratório de Meteorologia (LABMET) da Universidade do Vale do São Francisco (UNIVASF) por todo o apoio. Agradeço a todas as pessoas que participaram da coleta de dados no ano de 2019 nas cidades que fazem parte da bacia do Riacho do Pontal-PE.

Por fim, sou grato de coração a todos os brasileiros, verdadeiros financiadores das universidades públicas, na qual tive a oportunidade de estudar. Posso falar em alto e bom tom que seus impostos estão sendo recompensados.

“Eu sou apenas um rapaz latino-americano sem dinheiro no banco e sem parentes importantes” (BELCHIOR, 1976).

## RESUMO

A importância da água para a vida e para o desenvolvimento motivou debates que construíram caminhos para a mitigação dos riscos de escassez hídrica e de estratégias para a gestão das bacias hidrográficas. Aliado a isso e buscando conciliar a conservação e a proteção das vegetações nativas com a promoção de incentivos financeiros, surgiu no cenário internacional e nacional o instrumento econômico de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). No Brasil, experiências ganham destaque, como no caso do programa produtor de água da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). O estado de Pernambuco sofre as diversas consequências da ação do homem sobre o meio ambiente e os recursos hídricos. Uma das ações antrópicas que contribuem para esse quadro é o desmatamento do seu ecossistema predominante: Caatinga. O bioma possui apenas 50% da sua cobertura vegetal original. Nesse sentido, Pernambuco disciplinou o instrumento na Lei Estadual nº 15.809/2016 que institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais. Em vista disso, este estudo teve como objetivo avaliar o uso da modelagem hidrológica e da valoração ambiental na tomada de decisão em projeto de Pagamento por Serviços Ambientais em bacia hidrográfica no Estado de Pernambuco. Para isso, foi usada a técnica de valoração ambiental onde utilizou-se o Método de Valoração Contingente (MVC) através de 392 questionários aplicados em 2019. Na modelagem hidrológica foram preparados os dados de entrada (modelo digital de elevação, mapa de classificação de solos, mapa de uso do solo, dados meteorológicos) de 1961 a 2021 da região que abrange a bacia do Pontal-PE, onde quantificou-se a potencial oferta de Serviços Ecossistêmicos (SE) de regulação de água. Como forma de mensurar as informações da valoração foi utilizado o software *Statistical Package for the Social Science* (SPSS) e a modelagem hidrológica foi realizada com o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e o Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER). Os resultados mostram que é possível o uso da valoração ambiental e modelagem hidrológica como técnicas para apontar áreas prioritárias para o Programa Estadual de Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PEPSA) em Pernambuco. Visto que a modelagem apontou através de comparação seis sub-bacias com aspectos físicos/ambientais com indicadores na bacia do Pontal-PE para o PEPSA. A valoração ambiental apontou através dos questionários que (77,92%) dos entrevistados tem disposição a pagar pela conservação dos serviços ecossistêmicos da água e que o valor da moda apresentado foi de 10,00 Reais, escolhido por

(26,40%) dos entrevistados. Até o presente momento não existe nem um programa de PSA em construção ou funcionando em Pernambuco. Contudo, a lei pernambucana deixou de avançar em muitos pontos, principalmente na forma de atuação quanto ao financiamento, a diversidade das áreas e a inclusão para beneficiar os protetores locais. Conclui-se que a bacia do Pontal tem forte potencial para programas de PSA, onde a modelagem apontou índices satisfatórios em algumas sub-bacias para esta implantação e o MVC mostrou que a técnica de valoração pode ser empregada em projetos ambientais. Por fim, a modelagem hidrológica e a valoração ambiental têm forte potencial como técnicas de utilização para o PEPSA e podem nortear os atores institucionais na política pública ambiental de PSA em Pernambuco.

**Palavras-chave:** serviços ecossistêmicos; recursos naturais; compensação ambiental; políticas públicas.

## ABSTRACT

The importance of water for life and for development has motivated debates that have built paths for the mitigation of water scarcity risks and strategies for watershed management. Together with this and seeking to reconcile the conservation and protection of native vegetations with the promotion of financial incentives, the economic instrument of Payment for Environmental Services (PES) has emerged on the international and national scene. In Brazil, experiences gain prominence, as in the case of the water producer program of the National Agency for Water and Basic Sanitation (ANA). The state of Pernambuco suffers the various consequences of human action on the environment and water resources. One of the anthropic actions that contribute to this picture is the deforestation of its predominant ecosystem: Caatinga. The biome has only 50% of its original vegetation cover. In this sense, Pernambuco has disciplined the instrument in State Law No. 15.809/2016 that institutes the State Policy for Payment for Environmental Services. In view of this, this study aimed to evaluate the use of hydrological modeling and environmental valuation in decision making in a Payment for Environmental Services project in a watershed in the State of Pernambuco. For this, the environmental valuation technique was used where the Contingent Valuation Method (CVM) was used through 392 questionnaires applied in 2019. In hydrological modeling, the input data (digital elevation model, soil classification map, land use map, meteorological data) from 1961 to 2021 of the region that covers the Pontal-PE basin were prepared, where the potential supply of Ecosystem Services (ES) of water regulation was quantified. The Statistical Package for the Social Science (SPSS) software was used to measure the valuation information, and the hydrological modeling was done with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and the Hydrological Response Unit System for Pernambuco (SUPER). The results show that it is possible to use environmental valuation and hydrological modeling as techniques to target priority areas for the State Program of Payments for Ecosystem Services (PEPSA) in Pernambuco. Since the modeling pointed through comparison six sub-basins with physical/environmental aspects with indicators in the Pontal-PE basin for the PEPSA. The environmental valuation indicated through the questionnaires that (77.92%) of respondents are willing to pay for the conservation of water ecosystem services and that the mode value presented was 10.00 Reais, chosen by (26.40%) of respondents. To date there is neither a PES program under construction or functioning in Pernambuco. However, the Pernambuco law has failed to advance in many points, mainly in the way it operates regarding funding, the diversity

of areas and the inclusion to benefit local protectors. It is concluded that the Pontal basin has a strong potential for PES programs, where the modeling indicated satisfactory rates in some sub-basins for this implementation and the CVM showed that the valuation technique can be employed in environmental projects. Finally, hydrological modeling and environmental valuation have a strong potential as techniques to be used for PEPSA and can guide institutional actors in the environmental public policy of PES in Pernambuco.

**Keywords:** ecosystem services; natural resources; environmental compensation; public policies.

## LISTA DE FIGURAS


| | | |
|---|---|---|
| Figura 1 – | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | 26 |
| Figura 2 – | Tríade dos valores dos ecossistemas | 38 |
| Figura 3 – | Valor econômico do recurso ambiental | 39 |
| Figura 4 – | Métodos de valoração ambiental | 42 |
| Figura 5 – | Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE | 55 |
| Figura 6 – | Construção da curva de Lorenz para cálculo do índice de Gini | 60 |
| Figura 7 – | Mapa Altimétrico da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE | 62 |
| Figura 8 – | Mapa de Tipos de Solos da Bacia Hidrográfica do Pontal - PE | 63 |
| Figura 9 – | Regressão logística binária MVC/DAP | 72 |
| Figura 10 – | Dinâmica de precipitação (média) da Bacia do Pontal | 74 |
| Figura 11 – | Uso e Ocupação do solo na Bacia do Pontal (1985, 2000, 2010, 2020) | 75 |
| Figura 12 – | Curva de Lorenz para a distribuição de imóveis nos quatro municípios que compõem a bacia do Pontal-PE | 83 |
| Figura 13 – | Números de imóveis cadastrados no CAR nos municípios da Bacia do Pontal - PE | 88 |
| Figura 14 – | Área total do CAR na bacia em hectares | 89 |
| Figura 15 – | Ciclo hidrológico médio anual da bacia do riacho do Pontal-PE | 90 |
| Figura 16 – | Escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho do Pontal | 91 |
| Figura 17 – | Percolação de água no solo da bacia hidrográfica do riacho do Pontal | 91 |
| Figura 18 – | Evapotranspiração potencial da bacia hidrográfica do riacho do Pontal | 92 |
| Figura 19 – | Evapotranspiração real da bacia hidrográfica do riacho do Pontal | 93 |
| Figura 20 – | Precipitação da bacia hidrográfica do riacho do Pontal | 93 |
| Figura 21 – | Umidade de água no solo da bacia do Pontal | 94 |
| Figura 22 – | Rendimento líquido de água na bacia do Pontal | 94 |
| Figura 23 – | Descarga de água subterrânea na bacia do Pontal | 95 |

Figura 24 – Rendimento sedimentológico na bacia do Pontal 96

Figura 25 – Concentração de fósforo na bacia do Pontal 96

Figura 26 – Ciclo de Fósforo médio anual (1961 – 2021) 97

Figura 27 – Concentração de nitrato na bacia do Pontal 97

Figura 28 – Ciclo de Nitrogênio médio anual (1961 – 2021) 97

Figura 29 – Ciclo hidrológico médio anual das sub-bacia do riacho do Pontal-PE 98

Figura 30 – Você acha que a bacia do Pontal fornece serviços ecossistêmicos de 104

Figura 31 – Você estaria disposto a pagar pela conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação do Rio Pontal? 110

Figura 32 – Quanto você está disposto a pagar para promover a conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação do Rio Pontal? 110

## LISTA DE QUADROS


| | | |
|---|---|---|
| Quadro 1 – | Classificação e definição dos serviços ecossistêmicos segundo critérios do MEA. | 34 |
| Quadro 2 – | Tipos de regulação da água dos serviços ecossistêmicos, benefícios e exemplos específicos do ecossistema semiárido na Caatinga. | 41 |
| Quadro 3 – | Tipos de valores captados pelos métodos de valoração. | 43 |
| Quadro 4 – | Estudos de valoração ambiental em bacias hidrográficas brasileiras. | 44 |
| Quadro 5 – | Ferramentas para modelagem dos serviços ecossistêmicos. | 47 |
| Quadro 6 – | Subprogramas Inclusos no Pagamento por Serviços Ambiental de Pernambuco | 54 |
| Quadro 7 – | População total e população PEA nas 4 cidades da bacia hidrográfica do Pontal-PE | 68 |
| Quadro 8 – | Valores do cartão de pagamento | 69 |

## LISTA DE TABELAS


| | | |
|---|---|---|
| Tabela 1 - | Classificação do índice de Gini para concentração da posse da terra | 59 |
| Tabela 2 - | Informações sobre a modelagem hidrológica da pesquisa | 66 |
| Tabela 3 - | Quantitativo das classes do Uso e Ocupação do solo na Bacia do Pontal (1985, 2000, 2010, 2020) | 76 |
| Tabela 4 - | Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Afrânio | 78 |
| Tabela 5 - | Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Dormentes | 79 |
| Tabela 6 - | Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Lagoa Grande | 80 |
| Tabela 7 - | Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Petrolina | 81 |
| Tabela 8 - | Cultivos temporários e permanentes por hectare nos municípios da bacia do Pontal-PE | 85 |
| Tabela 9 - | Proporções do Balanço Hídrico da bacia riacho do Pontal-PE | 99 |
| Tabela 10 - | Características socioeconômicas dos entrevistados na bacia do Pontal-PE | 103 |
| Tabela 11 - | Percepção sobre os serviços ecossistêmicos da água na Bacia Pontal – PE | 105 |
| Tabela 12 - | Mediana das quantidades de serviços ecossistêmicos da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE que o entrevistado afirma conhecer. | 108 |
| Tabela 13 - | Teste de coeficiente de Pearson na Bacia do Pontal | 112 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ANA | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico |
| APAC | Agência Pernambucana de Águas e Clima |
| APP | Áreas de Preservação Permanentes |
| ART | Artigo |
| ARIES | Artificial Intelligence for Ecosystem Services |
| BBOP | Business and Biodiversity Offsets Program |
| CAAE | Certificado de Apresentação para Apreciação Ética |
| CCS | Centro de Ciências da Saúde |
| CEP | Comitê de Ética e Pesquisa |
| CN | Curva Número |
| CNS | Conselho Nacional de Saúde |
| COMEX PSA | Comitê Executivo do programa estadual de PSA |
| DAP | Disposição A Pagar |
| DAR | Disposição A Receber |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ESB | Ecosystem Services Benchmark |
| ESR | Ecosystem Services Review |
| EUA | Estados Unidos da América |
| FACEPE | Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco |
| FEMA | Fundo Estadual de Meio Ambiente |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IGPB | International Geosphere-Biosphere Programme |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| INVEST | Integrated Valuation Ecosystem Services and Tradeoffs |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| MEA | Millennium Ecosystem Assessment |
| MIMES | Multiscale Integrated Earth Systems Model |
| MODIS | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer |
| MSE | Modelagem dos Serviços Ecossistêmicos |

| | |
|---|---|
| MUSLE | Modified Universal Soil Loss Equation |
| MVC | Método de Valoração Contingente |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| NVI | Natural Value Initiative |
| ODM | Objetivos de Desenvolvimento do Milênio |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PEA | População Economicamente Ativa |
| PEPSA | Política Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais |
| PSA | Pagamento por Serviços Ambientais |
| SE | Serviços Ecossistêmicos |
| SEMAS | Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco |
| SISEMA | Sistema Estadual de Meio Ambiente |
| SCI | Science Citation Index |
| SCI-E | Science Citation Index Expanded |
| SCS | Soil Conservation Service |
| SECTI | Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação |
| SERGEO | Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento |
| SRTM | Shuttle Radar Topography Mission |
| SUFI2 | Sequential Uncertainty Fitting 2 |
| SUPER | Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco |
| SWAT | Soil and Water Assessment Tool |
| SWAT-CUP | Soil and Water Assessment Tool and Calibration Uncertainty Programs |
| SWOT | Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats |
| UFPE | Universidade Federal de Pernambuco |
| USDA | United States Department of Agriculture |
| VE | Valor de Existência |
| VERA | Valor Econômico do Recurso Ambiental |
| VNU | Valor de Não Uso |
| VO | Valor de Opção |
| VU | Valor de Uso |

| | |
|---|---|
| VUD | Valor de Uso Direto |
| VUI | Valor de Uso Indireto |
| WBCSD | World Business Council for Sustainable Development |
| WRI | World Resources Institute |
| WWF | World Wildlife Fund |

**SUMÁRIO**


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **INTRODUÇÃO** | 21 |
| 1.1 | HIPÓTESE..... | 25 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 25 |
| **1.2.1** | **Objetivo geral**..... | 25 |
| **1.2.2** | **Objetivos específicos**..... | 25 |
| **2.** | **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA**..... | 26 |
| | OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: ODS 6 E 15 E SUAS RELAÇÕES NA | |
| 2.1 | TEMÁTICA DO ESTUDO..... | 26 |
| 2.2 | ESTRUTURA FUNDIÁRIA NO NORDESTE BRASILEIRO..... | 28 |
| 2.3 | O CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)..... | 31 |
| 2.4 | CONCEITUAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS..... | 32 |
| | ABORDAGENS DAS TÉCNICAS EM ESTUDOS ACADÊMICOS DE | |
| 2.5 | PESQUISA DOS SE..... | 34 |
| 2.6 | OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS..... | 36 |
| **2.6.1** | **Valoração ambiental dos serviços ecossistêmicos**..... | 37 |
| **2.6.2** | **Métodos de Valoração Econômica de Recursos Ambientais**..... | 41 |
| **2.6.3** | **Métodos utilizados na valoração ambiental em bacias hidrográficas**..... | 43 |
| **2.6.4** | **Modelagem dos serviços ecossistêmicos**..... | 45 |
| **2.6.5** | **Panorama sobre o Pagamento por Serviços Ambientais**..... | 48 |
| | *O Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil à luz da nova Política* | |
| *2.6.5.1* | *Nacional de PSA: Um olhar sobre a Caatinga*..... | 50 |
| | *Análise da Legislação de Pagamento por Serviços Ambientais no Estado de* | |
| *2.6.5.2* | *Pernambuco*..... | 52 |
| **3.** | **MATERIAL E MÉTODOS**..... | 55 |
| 3.1 | LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 55 |
| | PROCESSAMENTO DE IMAGENS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | |
| 3.2 | NA BACIA..... | 56 |
| 3.3 | ESQUEMA METODOLÓGICO DA ESTRUTURA FUNDIÁRIA..... | 56 |

| | | |
|---|---|---|
| 3.4 | O USO DO ÍNDICE DE GINI E O CÁLCULO DE CONCENTRAÇÃO FUNDIÁRIA..... | 58 |
| 3.5 | AQUISIÇÃO DOS DADOS DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)..... | 60 |
| 3.6 | O USO DO SWAT PARA MODELAR SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA..... | 61 |
| **3.6.1** | **Coleta de dados e pré-processamento do SWAT.....** | 61 |
| **3.6.2** | **Processamento no SWAT.....** | 63 |
| **3.6.3** | **Auto calibração e validação.....** | 65 |
| **3.6.4** | **Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco-SUPer...** | 65 |
| 3.7 | MÉTODO DE VALORAÇÃO DE CONTINGENTE (MVC)..... | 66 |
| 3.8 | COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA..... | 67 |
| 3.9 | TAMANHO DA AMOSTRA..... | 67 |
| 3.10 | MEIO DE ELICIAÇÃO E INSTRUMENTO DE PAGAMENTO..... | 69 |
| 3.11 | PRÉ-TESTE DO QUESTIONÁRIO..... | 69 |
| 3.12 | APLICABILIDADE DO QUESTIONÁRIO E COLETA DE DADOS NO ANO DE 2019..... | 70 |
| 3.13 | PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS DADOS..... | 71 |
| 3.14 | COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON..... | 72 |
| **4.** | **RESULTADOS E DISCUSSÃO.....** | 74 |
| 4.1 | DINÂMICAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA RIACHO DO PONTAL..... | 74 |
| 4.2 | ANÁLISE DA ESTRUTURA FUNDIÁRIA NOS MUNICÍPIOS DA BACIA DO PONTAL-PE..... | 78 |
| **4.2.1** | **A configuração agrícola na Bacia do Pontal-PE.....** | 85 |
| **4.2.2** | **O Cadastro Ambiental Rural (CAR) e seus números na Bacia do Pontal-PE.....** | 87 |
| **4.2.3** | **Modelagem hidrológica da água de 1961 a 2021 na Bacia do Pontal-PE....** | 89 |
| **4.2.4** | **Identificação e caracterização socioeconômica dos moradores da bacia hidrográfica do Riacho do Pontal – PE.....** | 102 |
| 4.3 | PERCEPÇÕES SOBRE OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE REGULAÇÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO..... | 104 |

| | | |
|---|---|---|
| 4.4 | DISPOSIÇÃO A PAGAR PELA CONSERVAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE REGULAÇÃO DA ÁGUA NO SEMIÁRIDO..... | 109 |
| 4.5 | ANÁLISE ESTATÍSTICA DO COEFICIENTE DE PEARSON NA BACIA DO PONTAL..... | 111 |
| 4.6 | ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA – ATOR INSTITUCIONAL DO GOVERNO ESTADUAL..... | 117 |
| **5.** | **CONSIDERAÇÕES FINAIS**..... | 116 |
| | **REFERÊNCIAS**..... | 118 |
| | **APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO PONTAL-PE**..... | 145 |
| | **ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**..... | 148 |

# 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da humanidade na atualidade vem sendo solucionar o problema da escassez hídrica. A questão tem alarmado não só os grupos científicos, mas toda a sociedade civil e o Estado, que buscam soluções, sejam cientificamente ou em ações de gestão em suas políticas públicas para a conservação e sustentabilidade da água. Por muito tempo, as economias dos países têm estado centradas na exploração dos Serviços Ecossistêmicos (SE), como o fornecimento de alimentos, energia, recursos minerais e água. Muitos destes acontecimentos são devidos à exploração dos recursos naturais, que vêm causando inúmeros impactos ambientais, gerando preocupações em relação à sobrevivência do homem na Terra (COSTANZA, 2020; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Tratando-se de recursos hídricos, o desenvolvimento não sustentável associado à sua indisponibilidade prejudica a qualidade, comprometendo a capacidade de suprir a demanda na terra. Segundo o *WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME* (UNITED NATIONS, 2018), 1,2 bilhões de pessoas no mundo têm dificuldades de acesso à água de boa qualidade e, como agravante, a demanda mundial por água deverá aumentar 55% até 2050. A menos que se busque um equilíbrio entre demanda e disponibilidade, o mundo terá de enfrentar um déficit hídrico cada vez maior.

Essas condições são ainda mais graves quando se trata de regiões semiáridas. No Brasil, a região semiárida corresponde a 982.563,3 km², ocupando cerca de 11% do território nacional (IBGE, 2016). Essa área encontra-se, quase totalmente, no Nordeste brasileiro. Tal região tem como particularidades baixas precipitações pluviais anuais e uma alta variabilidade espaço-temporal, além de alta evapotranspiração (GALVÍNCIO, 2017; INÁCIO SILVA *et al*., 2017; MONTENEGRO; RAGAB, 2012). Locais semelhantes podem ser encontrados no Paraguai e na Argentina, contudo, o semiárido brasileiro destaca-se por ser o mais populoso do mundo (MALVEZZI, 2007; CAMPOS *et al*., 2017; RUFINO; SILVA, 2017; MARENGO *et al*., 2018; PILZ *et al*., 2019; CAVALCANTE *et al*., 2019; LEDRU *et al*., 2020), abrigando uma população que em grande parte utiliza os recursos naturais para atender às suas demandas.

Mesmo sob condições adversas, como clima seco e terra semiárida, a Região Nordeste, onde está localizado o semiárido brasileiro, tem importantes bacias hidrográficas, tais quais: a Bacia do Rio São Francisco e a Bacia do Parnaíba, que fornecem muitos serviços ecossistêmicos altamente relevantes para a manutenção da vida, bem como para a melhoria na qualidade social e na potencialização e incentivo à economia. Desta forma, essas bacias são essenciais para os municípios contidos nestes territórios.

De acordo com Castro *et al.* (2011), a pesquisa de Serviços Ecossistêmicos (SE) em áreas semiáridas avançou para identificar conflitos de interesse entre diferentes setores da sociedade, priorizando ações de conservação e os valores econômicos de diferentes serviços prestados por ecossistemas semiáridos que podem ajudar no desenvolvimento local. A abordagem dos SE enfatiza as relações entre biodiversidade, ecossistemas e suas contribuições às pessoas (DÍAZ *et al*., 2018; MEA, 2005). Na abordagem do cenário de exposição dos SE, os ecossistemas são considerados importantes por causa dos múltiplos benefícios que oferecem ao ser humano.

Nesse contexto, e com uma gama considerável de SE, apresenta-se a Caatinga brasileira e sua biodiversidade. O bioma contém em sua fauna cerca de 187 espécies de abelhas, 240 de peixes, 167 de répteis e anfíbios, 516 de aves e 148 de mamíferos, com níveis de endemismo variando de 9% em aves a 57% em peixes (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003). Além disso, a Caatinga possui em sua flora mais de 1.000 plantas vasculares distribuídas como um mosaico de florestas tropicais sazonalmente secas e vegetação arbustiva, cenários dotados de beleza cênica e valor ambiental únicos (MENEZES *et al.,* 2012; VIEIRA *et al.,* 2013).

Entretanto, tamanha biodiversidade contrasta com altos níveis de degradação, o que coloca a Caatinga entre os ecossistemas mais ameaçados da Terra, com altas taxas de conversão da vegetação nativa em área de atividade agrícola (MIRANDA *et al.,* 2020).

A problemática de maior intensidade no semiárido brasileiro é com certeza a questão hídrica, derivada de dois problemas: um de caráter natural, decorrente dos períodos de seca, e outro, relacionado à questão antrópica, representado pelo desmatamento da Caatinga e o uso e ocupação do solo de forma irregular, prejudicando o desenvolvimento dos serviços ecossistêmicos.

A sustentabilidade dos serviços ecossistêmicos em áreas semiáridas deve ser o objetivo de um plano de gestão e, por conseguinte, torna-se necessário mediar os conflitos frequentes entre utilizadores de água com base em preocupações ecológicas, econômicas, sociológicas e científicas (GUNKEL *et al.,* 2015; SÁNCHEZ *et al.,* 2018). Para que isso seja viável, é necessário entender os valores ecológicos, que são determinados por parâmetros ecossistêmicos, indicando a complexidade, raridade, diversidade, integridade, resiliência e resistência dos ecossistemas e a integridade dos seus serviços (GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002).

De acordo com Reis (2018), com o propósito de constituir planos de manejo favoráveis para garantir a conservação dos serviços ecossistêmicos prestados pela Caatinga, no semiárido e para outros ecossistemas, as políticas públicas de caráter socioambiental que estão sendo

aprovadas pelo governo de Pernambuco, como a Lei 15.809/16, que institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e cria o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, são exemplos que visam à conservação ambiental.

Existem programas exitosos de PSA em diferentes países. A primeira experiência de PSA no mundo foi desenvolvido na Costa Rica, já nos Estados Unidos da América o PSA hídrico é o de Nova York (EUA) envolvendo a Companhia de Água em 1994, na França o grupo PerrierVittel em 1989 pagou aos proprietários de fazendas de vacas leiteiras localizadas na parte alta de uma bacia para que estes melhorassem suas práticas agrícolas e para reflorestarem as áreas mais sensíveis, no México o Projeto ScolelTé teve início em 1996 na região de Chiapas, no Brasil o programa produtor de água em Extrema-MG e tido como um modelo para o mundo (FURLAN, 2008; LANDELL-MILLS; PORRAS, 2002; TEIXEIRA, 2011; REIS; SILVA, 2019; PERROT-MAÎTRE, 2006; MUYS, 2021).

Os incentivos de políticas públicas ambientais, nas suas mais diversas formas, como redução de impostos, isenção, a concessão de créditos e condições mais vantajosas, para aqueles que zelam, cuidam e reduzem os impactos de suas ações sobre o meio ambiente são mecanismos cada dia mais usados no Brasil e no mundo e a longo prazo geram, por si só, uma mudança de comportamento da população (FRIZZO; GRACIA, 2022).

Para Miranda (2017), essas políticas visam regulamentar, empregar esforços e capital financeiro em pesquisas para determinar a máxima eficiência de exploração dos recursos naturais em longo prazo, levando em consideração todas as suas implicações hidroecológicas.

Face ao exposto, temos o seguinte problema de pesquisa: quais ações podem ser realizadas na implantação de um Programa de Pagamento por Serviços Ambientais que possam viabilizar a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal.

A escolha da bacia do Pontal para este estudo se fundamenta pela ausência de pesquisas publicadas sobre valoração ambiental e de PSA em relação à questão hídrica em regiões semiáridas no Estado de Pernambuco. Mas nada impede que os ativos aplicados neste estudo possam ser usados em outras bacias. Porém, é oportuno salientar que o Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO/UFPE) é pioneiro em seus estudos de modelagem hidrológica na Bacia do Pontal (GALVÍNCIO, MOURA, RIBEIRO, 2006; SILVA, 2014; SILVA *et al.,* 2016; FERREIRA *et al.,* 2017; GALVINCIO, 2017; MIRANDA, 2017; GALVÍNCIO *et al.,* 2018; MIRANDA *et al.,* 2018; MIRANDA *et al.,* 2020), como também em outras bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco (GALVÍNCIO et *al*., 2016; MORAIS *et al.,* 2016; PAZ *et al.,* 2018; FRANÇA *et al.,* 2020), então torna-se profícuo um estudo de

gestão para aplicabilidade das várias técnicas que foram desenvolvidas e aplicadas por este grupo de estudo.

Para compreender o caminho metodológico do estudo, foi utilizada a valoração ambiental com o Método de Valoração Contingente (MVC), que é um dos métodos de valoração ambiental mais utilizado em pesquisas dos SE e no âmbito da gestão de políticas públicas ambientais, sendo o mais indicado para valorar os recursos ambientais, envolvendo os serviços ecossistêmicos.

Conforme apontam Mattos *et al.* (2015), esse método tem sido considerado uma das principais ferramentas analíticas para estimar o valor econômico de bens e serviços ecossistêmicos que não apresentam um valor de mercado.

Outra técnica usada neste estudo foi a modelagem hidrológica. Modelos matemáticos têm sido utilizados em todo mundo por pesquisadores e agentes de governo para simular processos físicos e biológicos que enfrentam dificuldades analíticas em função de sua complexidade ou pelo alto custo associado, especialmente no caso de monitoramentos contínuos em larga escala (ARNOLD, 1998).

Um dos modelos hidrológicos atuais mais utilizados é o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), o qual vem gradualmente ampliando suas fronteiras, pois detém um perfil de modelagem versátil aos interesses tanto de empresas privadas como de órgãos públicos (BRESSIANI, 2015). Além do SWAT, foi utilizado o SUPer (Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco). De acordo com Galvíncio (2021), o SUPer oferece interface interativa da web e mapas; com dados de entrada do SWAT que são pré-carregados; ofertando resultados que incluem tabelas, gráficos e dados de saída; um guia do usuário, e projetos de modelagem com desenvolvimento, execução e armazenamento online para os usuários.

Ademais, foram realizados estudos secundários sobre a estrutura fundiária da bacia, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e da Produção Agrícola Municipal (PAM), assim como o uso e ocupação do solo que agregaram informações importantes para a análise deste estudo. Segundo Galvíncio (2017), estudar as relações existentes entre o conteúdo de água e variáveis quali-quantitativas para a gestão pode auxiliar na prevenção dos impactos da escassez hídrica e da seca climatológica na Caatinga, subsidiando assim, políticas socioambientais.

Sendo assim, este estudo traz ineditismo, porque na área que está sendo desenvolvido não há registro de implantação da metodologia de PSA nem tampouco de valoração ambiental para conservação dos recursos naturais na Caatinga. Dessa forma, a análise das ações empreendidas pode contribuir para a gestão dos recursos hídricos a partir da implantação do PEPSA (Programa Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais) na área do estudo,

podendo ser usada pelos *stakeholders* para futuras propostas ou mesmo para implantação de tais políticas públicas ambientais em ambientes semiáridos ou adaptado para outros ambientes no Estado de Pernambuco.

## 1.1 HIPÓTESE

A técnica de modelagem hidrológica e valoração ambiental contribuem como ferramentas técnicas de formulação de uma PEPSA em seu subprograma água para a bacia hidrográfica no Estado de Pernambuco.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

- Avaliar o uso da modelagem hidrológica e da valoração ambiental na tomada de decisão em projeto de Pagamento por Serviços Ambientais na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal no Estado de Pernambuco.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1) Avaliar a dinâmica do uso e ocupação do solo.
2) Identificar a estrutura fundiária, configuração agrícola e o cadastro ambiental rural.
3) Analisar o balanço hídrico da Caatinga na bacia.
4) Avaliar a percepção e a disposição a pagar sobre os serviços ecossistêmicos de regulação da água no semiárido brasileiro.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

## 2.1 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: ODS 6 E 15 E SUAS RELAÇÕES NA TEMÁTICA DO ESTUDO

Em relação à questão hídrica, existe um pensamento mundial de que há uma grande abundância de água e de biodiversidade em todo o território brasileiro. A região amazônica no Brasil, muitas vezes, ofusca as atenções globais em detrimento do semiárido nordestino. Nessa região, fortemente suscetível às mudanças climáticas (AB'SABER 1999; CONTI, 2005), a convivência humana sustentável demanda ações públicas, bem como iniciativas locais e globais. Entre diversas ações para uma melhor convivência sociedade/natureza, está atualmente a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas. A Agenda 2030 abrange temas ligados às dimensões ambiental, social, econômica e institucional do desenvolvimento sustentável e é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), 169 metas e 232 indicadores (KRONEMBERGER, 2019).

Figura 1 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Agenda 2030 – ONU (2015)

O semiárido brasileiro é uma região onde diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentam problemas estruturais graves, causando uma lacuna entre os níveis atuais dos indicadores e as metas estabelecidas. O conflito que há entre a produção agrícola e pecuária e a sustentabilidade no bioma natural da Caatinga, somado à escassez de água, leva algumas regiões do semiárido a um processo de desertificação (CONTI, 2005) através de um ciclo vicioso altamente insustentável. Diante desse contexto, este capítulo trata diretamente de uma discussão sobre os ODS 6 e 15, a fim de trazer para o debate a disciplinaridade e correlacionar os dois objetivos, já que eles vão ao encontro do tema da tese que está sendo estudada em uma bacia hidrográfica no semiárido brasileiro.

O ODS 6 trata de assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos. Dos objetivos relacionados ao meio ambiente pode-se destacar o ODS 6, seu estabelecimento retrata o aumento da atenção para com os problemas relacionados à água e ao saneamento na agenda política global (SILVA; PEREIRA, 2019). A Agenda 2030, que evidencia a natureza integrada dos ODS, assinala o aumento das desigualdades, o esgotamento dos recursos naturais, a degradação ambiental e a mudança climática como alguns dos maiores obstáculos dos nossos tempos e reconhece que o desenvolvimento social e a prosperidade econômica dependem da gestão sustentável dos recursos hídricos e dos ecossistemas (ONU, 2018).

O ODS 6 é um importante ponto para as discussões sobre a questão hídrica no semiárido brasileiro, uma vez que se trata um ambiente onde não ocorre muita precipitação ao longo do ano, e, nesse sentido, as políticas, pesquisas, projetos e programas ambientais devem convergir principalmente sobre a questão da água e o seu uso pela população desse território. Para isso, é preciso atentar para as questões em torno de seu ecossistema, a Caatinga, que, ao longo dos anos, vem sofrendo um crescente e grave desmatamento, já apresentando cenários de desertificação em algumas áreas.

Nesse contexto, busca-se trazer também para este estudo a relevância do ODS 15 para a sustentabilidade da região semiárida brasileira, de predominância da Caatinga, bioma rico em biodiversidade que convive com graves problemas ambientais, sendo, talvez, o mais ameaçado e já transformado pela ação humana (ALBUQUERQUE *et al.,* 2012). O ODS 15 dá enfoque especial à problemática da degradação das florestas e propõe a proteção, recuperação e promoção do uso sustentável dos ecossistemas terrestres. Ademais, também preconiza a gestão das florestas, o combate à desertificação, a fim de deter e reverter a degradação da terra e a perda de biodiversidade (ONU, 2017). As principais ameaças à fauna e à flora da Caatinga são a caça desenfreada e a destruição da vegetação, inclusive por meio de queimadas. Outro motivo que preocupa é o tráfico ilegal de animais silvestres e de espécies florestais endêmicas do bioma. No objetivo 15 da Agenda 2030, está clara a inter-relação entre temas como proteção e recuperação de ecossistemas, combate à desertificação e à degradação da terra com a questão do desmatamento e perda de biodiversidade.

A conservação e proteção da Caatinga, por sua coincidência com o recorte de clima semiárido, têm valor estratégico nos processos de adaptação à variabilidade climática e ocorrência de eventos extremos de seca. Neste contexto, a Agenda 2030 pode ser um guia para medidas locais que possam trazer mudanças estruturais que promovam a conservação da sociobiodiversidade.

A Agenda global (2015-2030), que contempla as ODS, se apresenta como uma expectativa para suprir as lacunas persistentes dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), e dos novos objetivos e metas estabelecidos, principalmente no que diz respeito à institucionalização do desenvolvimento sustentável, possibilitando a erradicação da pobreza, a promoção da saúde, da educação, da segurança alimentar e nutricional, entre outros. No entanto, é questionável a permanência do atual modelo de crescimento vigente, sem a proposição de uma alternativa que o substitua, pois ainda fica claro nesta agenda o crescimento econômico como a solução para todos os problemas sociais. Verifica-se que os instrumentos globais, como as convenções e fóruns intergovernamentais, funcionam apenas como um guia à preservação e conservação das florestas, de forma que cabe a cada nação, conhecendo suas realidades e maiores necessidades, promover meios locais pelos quais estes objetivos globais possam ser alcançados.

Por fim, para que mudanças verdadeiras aconteçam no âmbito da conservação e preservação da Caatinga no semiárido brasileiro é necessário alinhar as ações locais (nacionais, estaduais e municipais) às diretrizes globais, envolvendo os diversos setores: público, privado e sociedade civil organizada. Somente dessa forma, os objetivos propostos poderão ser alcançados satisfatoriamente, conduzindo a uma melhor qualidade ambiental desde a escala de municípios até a escala global.

## 2.2 ESTRUTURA FUNDIÁRIA NO NORDESTE BRASILEIRO

A questão agrária brasileira é tema amplamente discutido por economistas e historiadores como Furtado (1972) e Guimarães (1989), os quais normalmente se estendem sobre a concentração fundiária e o latifúndio como elementos de importância nas desigualdades sociais brasileiras. Dentro dessa lógica, o desenvolvimento agrário brasileiro foi marcado pela concentração da propriedade e por desigualdades sociais condicionadas por arranjos legais, dentre os quais, segundo Serra (2003), podem ser incluídos na fase inicial da colônia e o sistema de sesmarias, que persiste até praticamente o final da dominação portuguesa. O mesmo autor faz também referência à legislação caracterizada por mecanismos legais a serviço de conjunturas político-econômicas que marcaram a evolução da estrutura fundiária de casuísmos, permitindo a criação de conflitos que perduram até os dias atuais.

Historicamente, a estrutura fundiária brasileira é caracterizada pela forte concentração da terra, compreendendo-se assim que, dentre outros fatores, a origem da exploração latifundiária no Brasil tem como base o modo de produção capitalista (PRADO JÚNIOR, 1979; FURTADO, 2005).

Em geral, por todo o território brasileiro é possível identificar grandes disparidades sociais, dentre elas na distribuição de renda e de terras, nos índices educacionais, de saúde, entre muitos outros (ALCANTARA; FONTES, 2009). No entanto, muitas dessas disparidades constatadas no país não são conjunturais, mas decorrentes de um encadeamento de ações que vem ocorrendo desde o surgimento do Brasil, principalmente no que se refere à questão da estrutura fundiária, onde nota-se uma distribuição da posse da terra altamente concentradora desde a formação da propriedade (MACHADO; ZERBONE, 2013).

A estrutura fundiária é a maneira como as propriedades rurais estão distribuídas, organizadas e apropriadas num determinado espaço, levando em consideração as suas dimensões num dado momento histórico (HOFFMANN; NEY, 2010). Neste sentido, a análise da estrutura fundiária é a compreensão das diferenças sociais existentes no espaço agrário e serve como indicativo da forma de distribuição da terra na percepção da exclusão e do acesso a esta. No Brasil a estrutura fundiária se configura desde o século XVI com a predominância de latifúndios, conservando esta estrutura até os dias atuais. Segundo Andrade (2002), a origem dos latifúndios seria referente ao período de colonização em função do sistema de sesmaria estabelecido no país, em que a divisão de terras para ocupação do território da colônia era de grandes lotes dados a pessoas que dispunham de recursos para explorá-las, sendo a região Nordeste o principal expoente deste tipo de ocupação.

De acordo com Nunes (2016), o movimento de ocupação dos sertões nordestinos se deu de forma contínua e incompleta, com ocorrência de processos de abertura e fechamento de fronteiras, promovidos pela introdução da pecuária e pela expansão da cotonicultura ao longo dos séculos XIX e XX.

O caráter marcadamente assimétrico de distribuição de terras no Nordeste e o vagaroso processo de desconcentração destas, permitiu que alguns estudos continuem a definir esse espaço como lugar do latifúndio e da tradição. Todavia, ressalta-se que a grande propriedade não parece ser mais o elemento estruturante que organiza as relações sociais nessa região (MAIA; GOMES, 2020). É importante reconhecer que a grande propriedade não desapareceu por completo e que, em alguns municípios, foi ressignificada e resiste, produzindo economicamente (DIAS, 2019).

Acompanhando a evolução da economia agrária no Nordeste, testemunha-se fortes transformações e o surgimento no Nordeste de grandes polos industriais, tais como: (Caruaru, em Pernambuco; Campina Grande, na Paraíba; e Crato-Barbalha, no Ceará). Este processo contribuiu para a desagregação da estrutura fundiária tradicional e, de certa maneira, concorreu para a modernização da grande propriedade (PAUPITZ, 2010).

Em termos de Brasil, e em especial a região Nordeste, tem-se um quadro fundiário em que se pode observar que, um percentual de aumento de minifúndios e de pequenas propriedades domina uma parcela expressiva de territórios, visto nos últimos censos agropecuários (SILVA; ALVES; SÁ, 2016). O Nordeste, e principalmente as áreas semiáridas, onde historicamente as atividades do campo desempenham importante papel econômico e social, é uma das regiões do Brasil, com alta concentração de população rural, sendo também a mais deprimida social, econômica e tecnológica, além de sofrer sistematicamente os efeitos de sua vulnerabilidade climática. O tema da estrutura fundiária nesta região continua atual e não resolvido, onde a pobreza rural ainda é uma realidade constrangedora (MEDEIROS, 2010).

A posse e uso da terra no Nordeste revelam o antagonismo suscitado pela subordinação, expropriação e exploração entre uma classe social dominante representada pelos proprietários de terra e os camponeses, o que incita a realização de uma análise contextualizada sobre a atual estrutura fundiária brasileira, agravando a questão hídrica e de alimentação (SANTOS *et al*., 2020). A questão fundiária, por exemplo, está na base de inúmeros problemas de acesso e manejo dos recursos naturais pela população pobre em regiões semiáridas (SÃO JOSÉ *et al*., 2020). Segundo Maciel e Pontes (2015), a grande parte das terras secas do Nordeste possui sistemas para armazenar água, entretanto, concentrados nas mãos de poucos em suas grandes estruturas fundiárias, intensificando, consequentemente, problemas sociais de acesso ao recurso natural. Conti (2011) explica que a estrutura fundiária, caracterizada pelo predomínio do latifúndio, é responsável pelo agravamento da situação, visto que exclui a maioria dos habitantes da zona rural das melhores terras, deixando-lhes as áreas inadequadas para o cultivo e sem acesso à água em inúmeros municípios do Nordeste.

Os municípios que apresentaram os piores índices agrícolas em relação à estrutura fundiária em seus Módulos Fiscais (MF), ambiental e social no Nordeste, demonstram também alta vulnerabilidade, o que permite afirmar que há baixa capacidade adaptativa em relação a eventos meteorológicos, ocasionando uma maior probabilidade de insucesso agrícola nestas áreas (SÃO JOSÉ *et al*., 2020).

O Módulo Fiscal (MF) é uma unidade de medida agrária que representa a área mínima necessária para as propriedades rurais poderem ser consideradas economicamente viáveis (LANDAU *et al*., 2012).

Em um panorama geral a concentração da terra se intensificou no Nordeste, apesar da mudança no perfil produtivo, mais de caráter industrial-urbano e menos rural-agrícola, a concentração manteve-se quanto ao Índice de Gini, os valores do Nordeste e para o Brasil foram praticamente iguais, quando se analisa os últimos estudos fundiários, apontando uma alta

concentração fundiária (CÂMARA, 1949; MEDEIROS, 2010; MEDEIROS, 2016; PINTO *et al*., 2020). O Índice de Gini é utilizado para mensuração do grau de concentração de distribuições estatísticas, sendo comumente aplicado para a renda e a propriedade fundiária (HOFFMANN; NEY, 2010). Os índices do Nordeste sobre a estrutura fundiária denotam a rigidez para se obter o avanço em certas variáveis sociais no Nordeste, das quais provavelmente uma delas é a estrutura fundiária que, conjugada a outros fatores, colocam o Nordeste no primeiro patamar da desigualdade (LIMA; BARRETO, 2016).

Isso significa que existem muitos estabelecimentos agropecuários detendo pouca área (ha), enquanto poucos estabelecimentos possuem grande extensão de terras, que são materializados nos latifúndios (MEDEIROS, 2016). Ressalta Medeiros (2016), em seu estudo sobre a estrutura fundiária do Nordeste, que aferido pelo índice de Gini, a concentração permaneceu muito elevada e praticamente inalterada, o que se pode inferir, tomando-se por base essas informações, é que do ponto de vista da posse da terra.

## 2.3 O CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)

De acordo com a Lei nº 12.651, com a implantação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), a supressão de novas áreas de floresta ou outras formas de vegetação nativa apenas é autorizada pelo órgão ambiental estadual integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) se o imóvel estiver inserido no mencionado cadastro, exceto nos casos em que a Reserva Legal (RL) já tenha sido averbada na matrícula do imóvel e em que essa averbação identifique o perímetro e a localização da reserva (Lei nº 12651, 2012).

A melhor possibilidade para produção de tal localização é a utilização do CAR, que nada mais é que um registro público eletrônico georreferenciado de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais desde 2012, sendo uma ferramenta informativa que permite controle e monitoramento, integrando informações ambientais (NOBRE; LEITE; MARQUES, 2021). O CAR constitui-se uma base de dados estratégica para o controle, o monitoramento e o combate ao desmatamento das florestas e demais formas de vegetação nativa do Brasil (LAUDARES; SILVA; BORGES, 2014).

A inscrição da RL no CAR ocorre por meio de planta e memorial descritivo, com as coordenadas geográficas com, pelo menos, um ponto de amarração. O registro no CAR desobriga realizar o mesmo em Cartório de Registro de Imóveis, mesmo assim, desde a data em que a Lei foi criada e o registro no CAR, o proprietário ou possuidor rural que desejar fazer a averbação, tem direito, gratuitamente (Lei nº 12651, 2012).

O CAR atrelado à Legislação Ambiental leva os proprietários à obrigatoriedade do registro, a essência é o próprio georreferenciamento rural, regido por outras leis. Rosalen (2014) analisou os impactos da Lei nº 10.267/2001 no cadastro rural brasileiro, e aponta que o importante foi o próprio georreferenciamento, que permitiu a instalação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Antes da Lei, as representações cartográficas utilizadas em inquéritos rurais eram as plantas topográficas locais sem conexão entre imagem e texto. O sistema evita áreas de sobreposição, e assim auxilia na luta contra fraudes. A fraude de terras é um dos problemas da realidade brasileira, a utilização do cadastro rural pode reduzir a quantidade (SERAMIM, 2017). Dessa forma, o CAR serve como base para a análise prévia de autorização de supressão de vegetação nativa para uso alternativo do solo. O órgão estadual competente terá acesso ao CAR para deliberar sobre as decisões necessárias ao assunto (Lei nº 12651, 2012).

Em 2016, por meio da Lei nº 13295, de 14 de junho de 2016, ocorreu alteração na Lei nº 12.651 (2012), prorrogando o prazo de inscrição no CAR, que passou a ser requerida até 31 de dezembro de 2017, e ainda poderia ser prorrogável por mais um ano por ato do Chefe do Poder Executivo. Da mesma forma, após 31 de dezembro de 2017, as instituições financeiras só concederão crédito agrícola para aqueles que tenham realizado o cadastro (SERAMIM, 2017).

O Ministério do Meio Ambiente (2015) divulga os Boletins Informativos do CAR periodicamente permitindo consultar a quantidade de cadastros realizados. Em termos práticos, o CAR possibilita o planejamento ambiental e econômico da utilização e ocupação da propriedade rural.

As vantagens do CAR, de acordo com a cartilha de orientações, são: potencial instrumento para planejamento do imóvel rural; acesso ao Plano de Regularização Ambiental; comercialização de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) e acesso ao crédito agrícola. O acesso ao crédito agrícola atrelado ao CAR é um dos pontos que mais impacta nas propriedades. Trata-se de uma forma encontrada pela União para atingir o objetivo de 100% das áreas cadastradas, e assim melhorar e facilitar os processos de gestão ambiental.

## 2.4 CONCEITUAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

A definição de serviços dos ecossistemas tem sido apresentada de diversas formas, contudo, sempre apontando que esses não necessitam do homem para suas interações e produção. O homem, por sua vez, é quem necessita diretamente e indiretamente de todos os serviços ecossistêmicos. Apesar das diferentes perspectivas com que é usado, o conceito de

serviços ecossistêmicos é considerado um importante modelo para relacionar o funcionamento dos ecossistemas e as suas relações com o bem-estar humano e consequentemente para produzir decisões mais bem fundamentadas em vários contextos, já que a sobrevivência do homem na Terra depende diretamente dos recursos naturais coletados da natureza.

A importância dos serviços ecossistêmicos para a sobrevivência humana e uma visão socioecológica holística para o manejo do ecossistema têm sido enfatizadas em iniciativas de políticas por diversas nações no mundo que estão seguindo um modelo mais sustentável, mostrando a importância para a conservação e proteção da biodiversidade (KARIMI; YAZDANDAD; FAGERHOLM, 2020)

Dadas as várias definições disponíveis na literatura sobre serviços ecossistêmicos e a necessidade de uma descrição precisa para apresentar o conceito às partes interessadas, sendo elas a população de determinado local e os tomadores de decisão, usaremos o conceito de serviços ecossistêmicos pautado na visão de alguns autores e de manuais de referência sobre o tema. Definimos serviços ecossistêmicos (SE) como os benefícios que o homem obtém dos ecossistemas e que são essenciais para a sua sobrevivência (COSTANZA, 2008; DE GROOT, 2006; FISHER; TURNER; MORLING, 2009; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Os ecossistemas naturais oferecem inúmeros benefícios para a humanidade e de muitas formas estes recursos são usados. Os serviços ecossistêmicos podem ser os processos por meio dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os compõem suportam e complementam a vida humana, permitindo a manutenção da biodiversidade e a produção de bens naturais (MORELLO *et al.,* 2020; TIDWELL *et al.,* 2019).

Alguns pesquisadores (COOPER *et al.,* 2016; OTEROS-ROZAS *et al.,* 2018; RYFIELD *et al.,* 2019) discutem a necessidade de melhorar o conhecimento acerca dos serviços ecossistêmicos com vistas a gerar melhores ferramentas de gestão, políticas de conservação e uso sustentável dos recursos, referindo-se a tais serviços como “o conjunto de funções dos ecossistemas que são úteis para os seres humanos”.

O trabalho desenvolvido pela Avaliação dos Ecossistemas do Milênio - MEA (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005) ratifica o debate sobre o tema no âmbito das políticas internacionais. O relatório classifica os serviços prestados pela natureza como serviços ecossistêmicos de suporte, aprovisionamento, regulação e culturais, conforme se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação e definição dos serviços ecossistêmicos segundo critérios do MEA

| SERVIÇOS | CONCEITOS |
|---|---|
| Serviços de provisão ou abastecimento | São os produtos obtidos diretamente dos ecossistemas (alimento, água, fibras, matéria prima, plantas medicinais). |
| Serviços de regulação | São os benefícios obtidos da regulação dos ecossistemas (regulação climática, manutenção e purificação da qualidade do ar e da água). |
| Serviços culturais | São os benefícios não materiais obtidos através dos ecossistemas (lazer, beleza cênica, ecoturismo, geração de conhecimentos, valores espirituais). |
| Serviços de suporte ou apoio | São os serviços necessários para a produção de todos os outros serviços (reciclagem dos nutrientes, produção primária, formação e retenção do solo, provisão de habitat, gerenciamento do lixo). |

Fonte: MEA (2005)

Dificilmente é observado um serviço ecossistêmico sendo prestado isoladamente. Isso quer dizer que as áreas conservadas, por exemplo, fornecem diferentes serviços interligados entre si, tais como: conservação da biodiversidade, contribuição para a melhoria do corpo hídrico, manutenção da ciclagem de nutrientes, regulação do microclima, entre outros (REIS, 2018).

Portanto, a conceituação de serviços ecossistêmicos é inteiramente antropocêntrica, produto de um olhar utilitário dos ecossistemas. Se, por um lado, tal perspectiva desconsidera a natureza por seu valor intrínseco, mas sim por seu valor de uso, por outro lado, torna a utilização do conceito de serviços ecossistêmicos atraente e complexa, na medida em que ajuda a relatar as diferentes e complexas formas como as sociedades humanas estão intimamente ligadas e dependentes da natureza (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018; ROMEIRO, 2019; WARDROPPER *et al.,* 2020).

## 2.5 ABORDAGENS DAS TÉCNICAS EM ESTUDOS ACADÊMICOS DE PESQUISA DOS SE

A maioria dos estudos sobre serviços ecossistêmicos são de caráter quantitativo, sendo estes fortemente ligados a avaliações biofísicas da natureza e a exercícios de avaliação

econômico-monetária (PLIENINGER *et al*., 2013). Na grande maioria das vezes, buscam informar sobre o *trade-off* ou sobre a sinergia dos SE. Uma outra técnica para mensurar os serviços ecossistêmicos, na maioria das vezes esquecida, é o domínio socioeconômico, que requer abordagens alternativas de avaliação, utilizando uma ampla gama de ferramentas e métodos (DANIEL *et al*., 2012). Para capturar essa dimensão, é essencial abordar os serviços ecossistêmicos e as preferências socioeconômicas das partes interessadas (KHAN; ZHAO, 2019; THOMPSON; FRIESS, 2019).

Estudos de percepções, valores, atitudes e crenças podem gerar *insights* mais significativos sobre as contribuições dos serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano do que avaliações puramente biofísicas (CANOVA *et al*., 2019; MARTÍN-LÓPEZ *et al*., 2012; TORKAR; KRAŠOVEC, 2019).

Em especial, eles fornecem uma compreensão mais precisa da relevância dos serviços ecossistêmicos para as partes locais interessadas, permitindo maior sensibilidade (BERG *et al*., 2017; DERY *et al*., 2019) e diagnóstico dos *trade-offs* na avaliação de serviços ecossistêmicos entre diferentes grupos de usuários, para identificar preferências das partes interessadas (ROSSETTI; HURTUBIA, 2020; TIDWELL *et al*., 2019; ZAWOJSKA; BARTCZAK; CZAJKOWSKI, 2019). Portanto, investigar os valores sociais dos serviços ecossistêmicos é um fator importante que normalmente incorpora vários grupos de partes interessadas. Os grupos podem incluir pessoas, locais, fornecedores e beneficiários, tomadores de decisão do governo, bem como especialistas do setor científico (SMITH; SULLIVAN, 2014). Contudo, entender a dinâmica dos serviços ecossistêmicos em um olhar socioeconômico sobre as preferências reveladas torna-se mais importante na região onde o estudo foi desenvolvido.

A questão sobre as abordagens das técnicas (biofísica, monetária e socioeconômica) é abrangente e merece discussão, e todos os estudos, desde que tenham rigor acadêmico, têm sua importância. No entanto, os serviços ecossistêmicos podem acomodar grande diversidade de valores com suas diversas técnicas desde que se busque equilíbrio na relação sociedade-natureza.

Para o estudo dos serviços ecossistêmicos, a chave para o sucesso está na análise quali-quantitativa, identificação e medição de indicadores de ligação, indicadores biofísicos que facilitam a avaliação social, incluindo a avaliação monetária de mudanças ecológicas e suas variáveis socioeconômicas; esse é o caminho que norteia este estudo. À medida que os analistas e profissionais de serviços ecossistêmicos reconhecem melhor as várias maneiras pelas quais as pessoas se beneficiam dos ecossistemas, os estudos nesta área desenvolvem indicadores relacionados a esses diversos benefícios (BOYD et al., 2015).

## 2.6 OS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

As bacias hidrográficas podem ser conceituadas como sendo uma área físico- territorial que tem uma função estratégica no propósito de contribuir com a gestão ambiental (com foco nos recursos hídricos). É importante salientar ainda que as bacias hidrográficas desempenham uma importante função como espaço de identificação dos impactos causados pela ação antrópica às paisagens naturais, bem como seus desdobramentos sobre o funcionamento dos fluxos de SE em seus *trade-off* e processos de sinergia para o bem-estar do ser humano.

Sob a ótica da economia ecológica, as bacias hidrográficas podem ser destacadas como "ativos" naturais que produzem bens e serviços para a comunidade. Tais serviços podem ser denominados de serviços ecossistêmicos (POSTEL; S.; THOMPSON, B. H., 2005; TUDOSE *et al*., 2020). Dentre os serviços ecossistêmicos disponibilizados pelas bacias hidrográficas, deve ser dada atenção especial aos serviços de regulação hidrológica, que são compostos pelos seguintes serviços: purificação e filtragem da água, regulação dos fluxos estacionais, controle da erosão e dos sedimentos e preservação de *habitats* naturais (GOMES; DANTAS NETO; SILVA, 2018).

Segundo os estudos de Jorda-Capdevila *et al.,* (2019), há indicativos de que os serviços ecossistêmicos de regulação em sua subárea de purificação da água e controle de erosão ganharão mais relevância, de acordo com a tendência de muitos estudos, pois nos últimos anos esses serviços aumentaram entre 4 e 20% sua capacidade nos cenários em que foram implantados programas de conservação, mostrando bons resultados como em áreas agrícolas e urbanas. Assim, a gestão da água é essencial para melhorar a segurança do nexo comida-água-energia nas bacias hidrográficas, onde se deve pesquisar soluções integradoras para proteger os serviços ecossistêmicos relacionados à água de maneira sustentável.

As bacias hidrográficas possuem cenários multidimensionais e multifuncionais integrados, ideais para promover a pesquisa transdisciplinar, na qual os processos biofísicos e sociais podem ser analisados juntos (JUJNOVSKY *et al.,* 2017). Além disso, o uso de bacias hidrográficas como unidades de manejo permite a identificação de áreas geográficas onde os serviços ecossistêmicos são gerados e consumidos (FLOTEMERSCH *et al.,* 2015).

Portanto, há necessidade de ações mais desafiadoras e integradas para a conservação gestão sistemática dos serviços ecossistêmicos de regulação hidrológica nas bacias hidrográficas, a fim de criar áreas prioritárias efetivas e confiáveis para os serviços ecossistêmicos (FAN; OU; CHEN, 2019). Salientam Lin *et al.,* (2017) que é uma estratégia para a gestão da conservação dos serviços ecossistêmicos em bacia hidrográfica, é a sua

governança e deve incluir sistemas de valores sociais e ecológicos, facilitando, assim, um tipo de método de priorização e uma maior conscientização das partes interessadas, para que as áreas de conservação sejam mais efetivas.

É cabido evidenciar que o aumento da população humana em torno das bacias e as consequentes pressões sobre o uso do solo, seja para atividades agrárias ou o crescimento desordenado das cidades, têm se convertido em uma das principais causas de ameaça à conservação das bacias hidrográficas e as funções aos serviços ecossistêmicos. Mesmo considerando as bacias hidrográficas como importantes espaços básicos de análise e proposição de políticas ambientais (foco em gestão de recursos hídricos), ainda são pouco frequentes pesquisas acerca da órbita dos fluxos de serviços ecossistêmicos que utilizem esta escala como referência (GOMES, 2019).

Contudo, pode-se falar que, de modo geral, a quantidade de estudos acerca dos serviços ecossistêmicos prestados no semiárido pela Caatinga é baixo, e tal conhecimento seria vital para a valorização dos recursos hídricos dessa região, principalmente para o ordenamento do território da bacia hidrográfica (OLIVEIRA, 2016). Neste sentido, é válida e oportuna a intenção deste estudo, em trazer informações quali-quantitativas acerca dos serviços ecossistêmicos de regulação da água em uma bacia hidrográfica da Caatinga no semiárido pernambucano em áreas de potencial ambiental para o PEPSA.

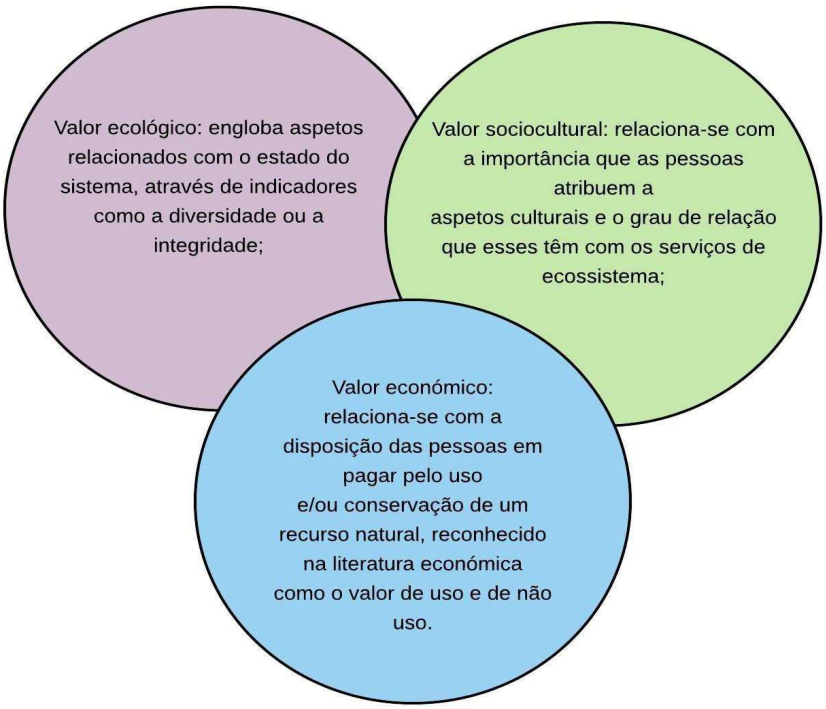
### 2.6.1 Valoração ambiental dos serviços ecossistêmicos

Os serviços ofertados pelo meio ambiente são elementos primordiais para o bem-estar das pessoas. Contudo, o fato de os recursos naturais não terem um valor definido de mercado torna complexa a sua administração. Porém, conforme alguns autores (DIXON; SHERMAN, 1990; FAUCHEUX; NOËL, 1995; MOTTA, 1997; RIERA *et al.,* 2005; DALY; FARLEY, 2004; ANDRADE; ROMEIRO, 2009), o uso ou consumo de um recurso ambiental pode ser decomposto na forma de sua utilização, resultando em valores de uso direto, indireto e de opção.

A verificação do valor dos ecossistemas depende da perspectiva usada para atribuição desse valor (RAJASEKHAR *et al.,* 2018), havendo uma variedade de formas para expressar o valor dos ecossistemas e seus serviços (DE GROOT ET *et al.,* 2010). O valor de um ativo natural em políticas públicas, por exemplo, relaciona-se com a sua contribuição para o bem-estar humano em relação a outros ativos. Alguns procuram obter o valor do recurso diretamente sobre as preferências das pessoas, utilizando-se de mercados hipotéticos ou de bens complementares para obter a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos (MAIA, 2002).

De Groot (2006) e De Groot *et al*. (2010) consideram três grandes domínios para a valoração dos ecossistemas e seus serviços, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Tríade dos valores dos ecossistemas

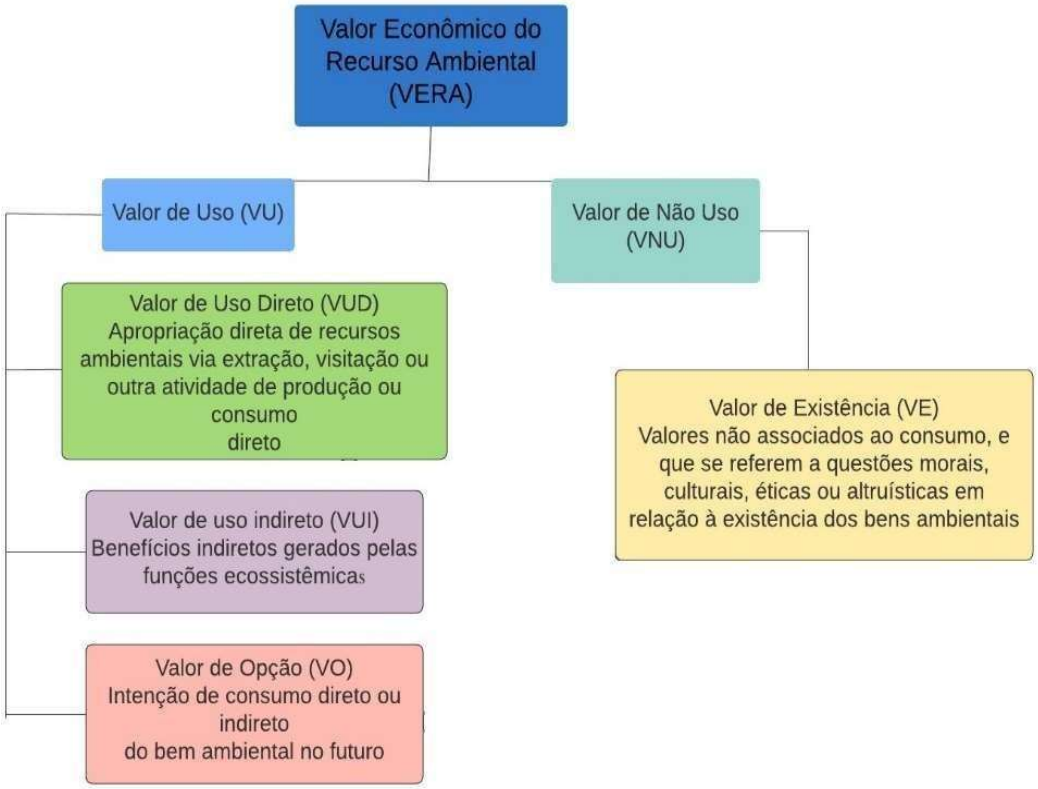



Fonte: De Groot (2006) e De Groot et al. (2010)

Na maioria dos estudos sobre valoração ambiental dos serviços ecossistêmicos, é utilizado o conceito de Valor Econômico do Recurso Ambiental (VERA), que desagrega o valor utilitário em Valores de Uso (VU) e Valores de Não Uso (VNU), assumindo-se que o valor econômico total consiste na soma dos VU e VNU, associados a um determinado aspecto do meio ambiente (DE GROOT *et al*., 2010; MAIA, ROMEIRO, REYDON, 2004; MOTTA, 1997).

Para Motta (1997), primeiro deve-se perceber que o valor econômico dos recursos ambientais é derivado de todos os seus atributos e, segundo, que estes atributos podem estar ou não associados a um uso, ou seja, o consumo de um recurso ambiental se realiza via uso e não uso, onde a soma desses resulta no VERA. Motta (1997) diz que os valores de uso podem ser subdivididos, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Valor econômico do recurso ambiental




Fonte: Adaptado de Motta (1997) e Maia (2002)

Os VU são aqueles valores que os indivíduos atribuem a um bem ambiental pelo seu uso no presente ou seu uso potencial no futuro, podendo atribuir preços de mercado existentes ou substitutos; estes incluem o Valor de Uso Direto (VUD), o Valor de Uso Indireto (VUI) e o Valor de Opção (VO) (VU=VUD+VUI+VO). Os VNU, por sua vez, referem-se aos valores dissociados do uso direto, expressando, assim, seu valor intrínseco e o Valor de Existência (VE) (VNU=VE) (MAIA; ROMEIRO; REYDON, 2004; MOTTA, 1997). A definição de cada um destes valores é realizada a seguir.

**Valor de uso direto** (VUD) é o valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo fato de que dele se utilizam diretamente. O VUD está associado ao ativo natural e é determinado quantitativa e qualitativamente. São exemplos de uso ou usufruto do recurso natural os produtos que possam ser aproveitados de forma sustentável e comercializados legalmente, como madeiras, alimentos, látex, fibras, óleos e fenóis, e aqueles produtos que incluem os benefícios ambientais proporcionados pelas áreas de lazer, recreação e turismo, estética da paisagem, valor espiritual, educação e pesquisa (MOTTA, 1997).

**O valor de uso indireto** (VUI) representa o valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício do seu uso deriva de funções ecossistêmicas. Esses valores incluem os benefícios derivados dos serviços que as áreas naturais fornecem como

aporte aos bens e serviços de produção, ou seja, os valores estimados, por exemplo, no controle da erosão, manutenção da qualidade da água, controle climático, preservação da biodiversidade, do material genético, entre outros (MOTTA, 1997). Ao inferir essas funções ambientais, por exemplo, a uma floresta, a mesma mantém em sua bacia hidrográfica espécies de fauna e flora, realiza a ciclagem de nutrientes, regulariza o clima e exerce diversas outras funções ecológicas vitais para a manutenção do ecossistema, as quais, muitas vezes, não são percebidas diretamente pelos indivíduos (MOTTA, 1997).

**Valor de opção (VO):** é o valor que o indivíduo atribui em preservar recursos, que podem estar ameaçados, para usos diretos e indiretos no futuro próximo. Os usos futuros podem ser diretos ou indiretos, como, por exemplo, o benefício advindo de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais ainda não descobertas de plantas existentes nas florestas (MOTTA, 1997). Se as preferências do consumidor e as disponibilidades futuras são certas, o valor de opção será zero, estando garantido o seu uso; porém, as incertezas futuras geram expectativas no presente do consumidor, que se declara disposto a pagar algum valor no presente para conservar os recursos naturais a fim de que tenha a opção de seu uso no futuro (MOTTA, 1997).

**Valor de não uso (VNU) ou valor de existência (VE)**: expressa o valor intrínseco do uso, refletindo, desta forma, o seu valor de existência. Esse valor é dissociado do uso e está relacionado à satisfação pessoal em saber que o objeto está lá, sem que o indivíduo tenha vantagem direta ou indireta dessa presença. A atribuição do valor de existência é derivada de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou da preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo (MOTTA, 1997).

Para realizar a Valoração Econômica de um recurso ambiental é necessário levar em conta as suas várias características, para dessa forma, reduzir as chances de subestimação ou superestimação.

Nesse contexto, a região Nordeste é a que mais sofre com a escassez de água, onde a grande parte do território apresenta clima semiárido, os índices pluviométricos e as temperaturas são bastante irregulares, implicando diretamente na hidrografia da região, fazendo com que os rios sejam predominantemente temporários.

Nesse cenário, estão os serviços ecossistêmicos de regulação da água que são o objeto de estudo da valoração deste estudo tendo como base a Millennium Ecosystem Assessment (2005), que traz uma descrição das categorias dos serviços ecossistêmicos de regulação da água e os seus exemplos. No Quadro 2, foram adaptados alguns exemplos pesquisados de SE de

regulação de estudos realizados em ambientes semiáridos por (ARIAS-ARÉVALO; MARTÍN-LÓPEZ; GÓMEZ-BAGGETHUN, 2017; RAJASEKHAR *et al*., 2018; RAO *et al*., 2018; DE VALCK; ROLFE, 2019). Ainda são poucos os estudos de valoração ambiental relacionando serviços ecossistêmicos de bacias hidrográficas da região semiárida brasileira, não havendo parâmetros para identificar as concepções de valores e seus benefícios diretos e indiretos para o tipo de ecossistema predominante, que é a Caatinga.

Quadro 2 - Tipos de regulação da água dos serviços ecossistêmicos, benefícios e exemplos específicos do ecossistema semiárido na Caatinga

| **TIPO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE REGULAÇÃO** | **FONTES E / OU EXEMPLOS ESPECÍFICOS** |
|---|---|
| Regulação Do microclima | Temperatura do ar, redução na velocidade dos ventos, temperatura do solo, aumento das precipitações. |
| Regulação da água (vazão) | Melhor infiltração e percolação no solo, escoamento para aquíferos, rios mais perenes. |
| Regulação de inundações e Erosão | Regulação da remoção da partícula da rocha e do solo pela ação da água, menor lixiviação da camada superficial, proteção das margens dos rios. |
| Purificação da água | Conservação da floresta sazonalmente seca, proteção das nascentes, proteção dos aquíferos. |
| Retenção de sedimentos | Agregação do solo, maior volume de matéria orgânica, maior saturação do solo. |

Fonte: Adaptado de MEA (2005) para caracterização dos SE de regulação na Caatinga (2020)

Nessas circunstâncias, a abordagem de uso direto e indireto da valoração neste ambiente é desconhecida, o presente estudo buscou explorar essas abordagens, e a estimação dos aspectos dos serviços ecossistêmicos de regulação ainda é uma incógnita neste ambiente.

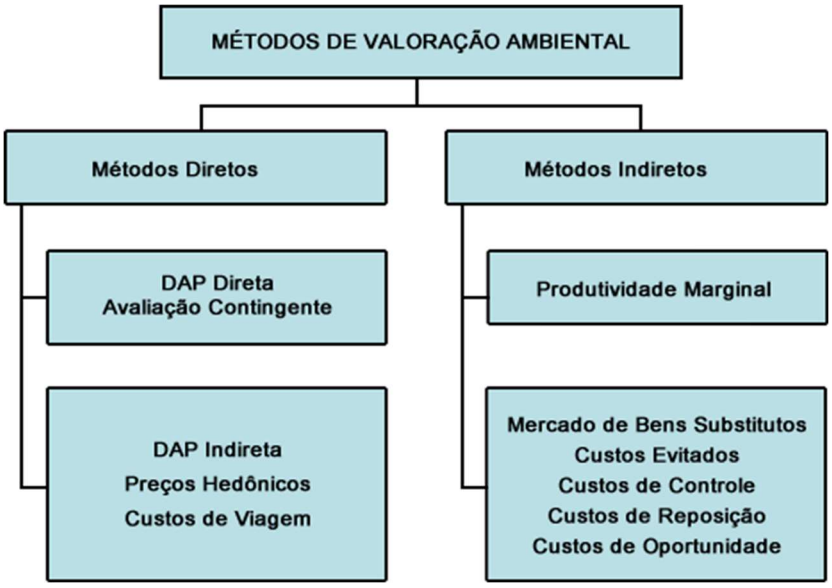
### 2.6.2 Métodos de Valoração Econômica de Recursos Ambientais

Com o intuito da obtenção dos valores econômicos ambientais dos recursos naturais, torna-se necessário o emprego de metodologias disponíveis na literatura. A teoria econômica do meio ambiente prevê uma série de técnicas no campo de estudo da valoração ambiental que

possibilitam aproximações quanto às preferências dos possíveis consumidores dos recursos naturais.

Vários autores clássicos descrevem diferentes métodos para a valoração dos serviços do ecossistema (COSTANZA *et al*., 1997; FARBER *et al*., 2006; HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018; DE GROOT *et al*., 2010; FISHER *et al*., 2008; MOTTA, 1997; MAIA; ROMEIRO, REYDON, 2004). É importante destacar que o valor econômico de um recurso ambiental pode ser estimado mediante dois enfoques de valoração, denominados direto e indireto, os quais são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Métodos de valoração ambiental



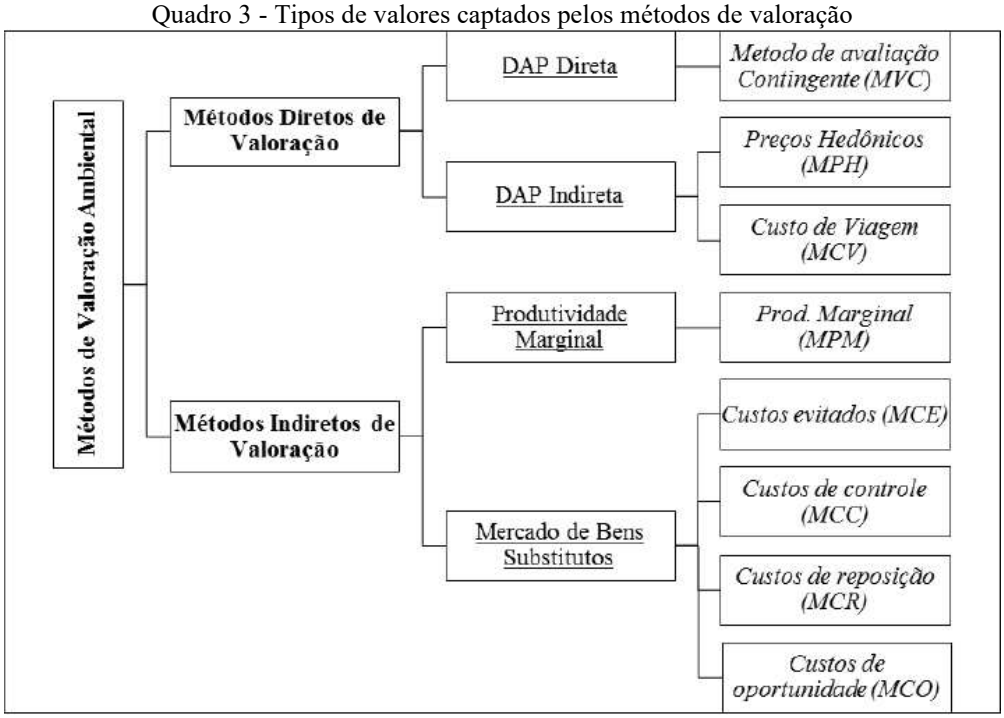

Fonte: Maia, Romeiro e Reydon (2004)

As metodologias indiretas têm como premissa a existência de preferências reveladas por parte dos indivíduos mediante a criação de mercados paralelos aos recursos ambientais. Portanto, se os consumidores pagam um preço de um bem ambiental, esse preço representará a utilidade do recurso ambiental. Ademais, o método indireto recupera os valores dos bens e serviços ecossistêmicos por meio das alterações nos preços de produtos do mercado resultantes das mudanças ambientais. O outro enfoque surge devido à necessidade de valorar bens ambientais que não possuem nenhum tipo de informação sobre o preço e as quantidades transacionadas.

A informação para desenvolver essas metodologias é obtida mediante entrevistas realizadas junto à população. Em geral, o enfoque direto procura captar as preferências da população, mediante a criação de mercados hipotéticos, com o objetivo de determinar a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos pelo bem ou serviço ambiental. No enfoque direto

estão os modelos como o de valoração contingente, custo de viagem e preços hedônicos. No Quadro 3 são apresentados as diferentes técnicas e os tipos de valores captados de acordo com a expressão VERA.

Quadro 3 - Tipos de valores captados pelos métodos de valoração




Fonte: Maia, Romeiro e Reydon (2004)

As técnicas de valoração permitem avaliar ainda diferentes componentes do VERA, devendo-se observar quais deles se pretendem valorar para que se possa escolher adequadamente a técnica a ser utilizada.

### 2.6.3 Métodos utilizados na valoração ambiental em bacias hidrográficas

A literatura sobre valoração ambiental traz diversos trabalhos sobre os valores econômicos ambientais dos recursos naturais, em diferentes locais e com variadas metodologias. Nesta seção, são pontuados os principais métodos empregados na captura do valor destes recursos, distinguindo-os pela sua forma e tipo de obtenção dos dados. É necessário identificar quais são os métodos frequentemente empregados na valoração ambiental em bacias hidrográficas no Brasil.

É essencial evidenciar ainda que, dada a complexidade desses hidroterritórios e sua organização social, como a sua importância tanto para os seres humanos como para o meio ambiente, torna-se tarefa bastante complexa estimar o seu valor econômico total. Ademais, cada um dos métodos aplicados possui suas próprias restrições metodológicas, bem como dificuldades em se estimar com exatidão o valor econômico total. Todavia, considerando a

importância e o nível de degradação desses locais, surge a necessidade de avaliá-los e incluí-los em programas de manejo, restauração e conservação.

Em diversos estudos têm sido empregados os métodos retratados no quadro 3 na valoração de diversos tipos de ecossistemas e lugares. Na maior parte dos estudos, dadas as restrições dos métodos, a valoração é efetuada, essencialmente, a fim de divulgar o quão importantes são os ecossistemas e como é imprescindível protegê-los e conservá-los.

Na maioria desses estudos, tem-se apreciado os muitos benefícios proporcionados pelas bacias hidrográficas, a saber: a geração de água, a melhoria do clima, dentre outros. Da mesma maneira, tem-se valorado as prováveis perdas de recursos naturais pela diminuição da geração de serviços ecossistêmicos devido aos impactos ambientais em bacias hidrográficas.

Outros estudos também trataram sobre os recursos financeiros gerados em bacia hidrográfica, por meio dos seus serviços ecossistêmicos, seja por via biofísica, sinergia ou seus *trade-off*.

No Quadro 4 são retratados diversos estudos (teses e dissertações) dos últimos anos elaboradas no Brasil, que têm usado a valoração ambiental em bacias hidrográficas.

Quadro 4 - Estudos de valoração ambiental em bacias hidrográficas brasileiras

| AUTOR(A) | ÁREA | METODOLOGIA | OBJETO VALORADO |
|---|---|---|---|
| Eiras (2019) | Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi - Paraná | Método de função de produção | Quantidade e uso da água |
| Ferreira (2017) | Bacia hidrográfica do Rio Bagagem em Minas Gerais | Método de Valoração Contingente | Melhoria da qualidade da água |
| Araújo (2014) | Bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró RN | Método de Valoração Contingente | Recuperação/preservação das águas do rio |
| Carvalho (2016) | Bacia hidrográfica do Rio Tramandaí (lagoas costeiras de Osório) RS | Método de Valoração Contingente | Preservação das lagoas costeiras |
| Costa (2017) | Bacia do rio Cassiporé - Amapá | Métodos de Custo de Reposição e Custos Evitados | Ações de mitigação para evitar contaminação do rio |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Machado (2011) | Bacia hidrográfica do manancial Ribeirão do Feijão - SP | Método de Valoração Contingente | Recuperação e proteção da bacia hidrográfica |
| Silveira (2011) | Bacia hidrográfica do Rio das Velhas - MG | Método de Valoração Contingente | Ações de recuperação do rio das Velhas |
| Camargo (2014) | Bacia Hidrográfica do Rio Doce - MG | Método de Valoração Contingente | Conservação do complexo de Cachoeiras da Serrinha -MG |
| Carvalho Neto (2018) | Bacia Hidrográfica do Rio Una - PE | Modelo *Soil And Water Assessment Tool* (SWAT) | Uso do solo e Vazão hídrica |

Fonte: Autor (2022)

Como é possível visualizar no Quadro 4, alguns estudos que versam sobre a valoração ambiental em bacias hidrográficas no Brasil, utilizaram o Método de Valoração Contingente (MVC). De fato, a abordagem do MVC é uma das mais usadas em estudos de valoração ambiental. No entanto, diversos autores (MAIA, ROMEIRO, REYDON, 2004; MOTTA, 1997), sinalizam que os métodos de valoração econômica possuem limitações tanto metodológicas como teóricas.

### 2.6.4 Modelagem dos serviços ecossistêmicos

A multiplicidade dos processos físicos, químicos e biológicos que acontecem nos ecossistemas, muitas das vezes não pode ser plenamente traduzida sob a forma de equações ou mesmo inserida sob a ótica de um único sistema. É nesta lógica que são vislumbrados os modelos enquanto representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem esta realidade (SRINIVAS *et al.*, 2020). A modelagem dos serviços ecossistêmicos pode ser uma ferramenta útil para avaliar os estados presente e futuro dos serviços ecossistêmicos, bem como para a avaliação do potencial de estratégias de gestão, por exemplo, das bacias hidrográficas (TOLEDO; ALCANTARA, 2019). Nesse contexto, os modelos matemáticos, ou modelos digitais, se baseiam em equações matemáticas para representar o sistema (ARNOLD *et al*., 1998; KALARONI *et al*., 2020; SRINIVASAN *et al*., 1998). Segundo Villa *et al*. (2014), Keenan *et al*. (2008), Tucci (2005) e Srinivasan (1995),

existem quatro abordagens principais para modelos hidrológicos, que surgem misturadas em modelos:

a) Empírico, conceitual ou de Base Física: utilizam relações matemáticas baseadas em observações, não representando os processos físicos e, por conseguinte, são específicas para a região e condições para as quais foram propostos. Aqueles ditos conceituais utilizam-se de equações empíricas que ainda descrevem o sistema, obedecendo aos processos físicos que regem o fenômeno. Por seu turno, os modelos de base física buscam representar os processos físicos com exatidão, por meio de equações diferenciais. Seus parâmetros possuem um significado físico e, portanto, podem ser estimados por medidas reais. Por esse motivo, apresentam a grande vantagem de aplicação em áreas de pouco conhecimento, uma vez que a atribuição dos valores dos parâmetros físicos deve ser suficiente para estabelecer uma simulação razoável.
b) Estocástico e Determinístico: quando uma das variáveis envolvidas na representação da realidade possui comportamento aleatório, seguindo alguma distribuição de probabilidade (em que um mesmo valor de entrada irá gerar diferentes valores de saída, ao acaso), o modelo é dito estocástico. Por outro lado, o modelo é definido como determinístico sempre que produzir os mesmos resultados para o mesmo conjunto de entradas, ou seja, o comportamento de toda variável é completamente determinado pelas equações que governam o modelo.
c) Concentrado ou Distribuído: a avaliação da análise espacial representada pelo modelo o difere entre concentrado, ou global, e distribuído. Um modelo global considera que todos os parâmetros de entrada e, por consequência os resultados obtidos, são representativos da área e do sistema em estudo, ou seja, são ignoradas as variações espaciais. O modelo distribuído, por sua vez, considera as particularidades espaciais de diferentes variáveis, na medida em que são traduzidos diferentes valores de parâmetros representativos de uma determinada área. Modelos distribuídos são geralmente conceituais ou de base física na medida em que se faz necessário algum discernimento das propriedades físicas para justificar os valores atribuídos aos parâmetros.
d) Modelo de Evento ou Contínuo: geralmente, os sistemas naturais são contínuos no tempo, contudo uma representação neste sentido é bastante difícil, fazendo com que os modelos apresentem seus resultados para um determinado intervalo de tempo. O

modelo pode ser classificado como de evento quando é indicado para simulações de curto espaço de tempo, que sejam representativas, por exemplo, de um único evento de precipitação. Ao passo que um modelo contínuo simula os processos sobre um amplo período.

Para Willcock *et al*. (2018), o aparecimento de modelos para a avaliação dos serviços de ecossistemas terrestres em nível do fornecimento, valoração e *trade-off* entre serviços à escala da paisagem está acontecendo rapidamente, haja vista a grande quantidade de *softwares* e estudos nesta área. A modelagem integrada que combina a dinâmica do uso do solo com processos biofísicos em uma bacia hidrográfica e seus serviços ecossistêmicos pode prever com sucesso uma variedade de impactos que podem resultar em decisões políticas e permitir avaliar a eficiência dos instrumentos de conservação (KIM *et al*., 2019). Para uma utilização prática dessa interpretação ambiental, é necessário utilizar mecanismos pelos quais todos os bens e serviços fornecidos pelos ecossistemas sejam quantificados, valorizados e incorporados adequadamente no processo de tomada de decisão.

Para lidar com essa complexidade, existem várias ferramentas de modelagem de SE (BOUMANS *et al*., 2015; JACKSON *et al*., 2013; POLASKY; TALLIS; REYERS, 2015; VILLA *et al*., 2014), que fornecem métodos úteis para a avaliação de SE múltiplos e para gerar previsões de SE sob vários cenários. O Quadro 5 mostra os principais *softwares* para a modelagem dos serviços ecossistêmicos.

A utilidade destes modelos reside na capacidade de poderem ilustrar, por meio do seu mapeamento, condições atuais e futuras dos serviços de ecossistema, seja em nível biofísico ou econômico, permitindo, em termos de gestão, uma melhor avaliação de possíveis alternativas (LEBLEU *et al*., 2019). A possibilidade de espacialização das estimativas biofísicas permite saber quem se beneficia do fornecimento dos serviços, onde esses benefícios ocorrem e qual o valor associado a tais serviços ecossistêmicos, bem como sua sinergia e quantidade.

Quadro 5 - Ferramentas para modelagem dos serviços ecossistêmicos

| FERRAMENTAS | DESENVOLVEDORES | FINALIDADE |
|---|---|---|
| ESR - Ecosystem Services Review | World Resources Institute (WRI) Meridian Institute, e World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). | Identificação de SE prioritários |
| | | |

| | | |
|---|---|---|
| ESB - Ecosystem Services Benchmark | NVI – Natural Value Initiative Fauna & Flora International, FGV, e United Nations Environment Programme Finance Initiative | Sistema de *benchmark* sobre riscos e oportunidades na gestão de SE |
| InVEST – Integrated Valuation Ecosystem Services and Tradeoffs | The Natural Capital Project, joint venture entre Stanford University's Woods Institute for the Environment, The Nature Conservancy and World Wildlife Fund (WWF) | Modelagem do fluxo de SE |
| MIMES - Multiscale Integrated Earth Systems Model | University of Vermont's Gund Institute for Ecological Economics | Modelagem do fluxo de SE |
| ARIES - Artificial Intelligence for Ecosystem Services | University of Vermont's Ecoinformatics "Collaboratory" (em Gund Institute for Ecological Economics), Conservation International, Earth Economics, e especialistas da Wageningen University | Modelagem do fluxo de SE |
| BBOP - Business and Biodiversity Offsets Program | Forest Trends, Conservation International e Wildlife Conservation Society | Guia de orientação e Verificação |
| SWAT (*Soil And Water Assessment Tool*) | Centro de Pesquisa e Extensão de Blackland, em Temple, Texas, EUA. | Modelagem do fluxo de SE |

Fonte: autor (2022)

### 2.6.5 Panorama sobre o Pagamento por Serviços Ambientais

Uma das estratégias que têm obtido resultados mais satisfatórios no fomento à conservação, proteção e restauração de ecossistemas, sobretudo daqueles essenciais para a manutenção das condições que garantem a provisão de serviços ecossistêmicos dos quais depende o bem-estar da sociedade, como o abastecimento de água, é a implementação de iniciativas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

De acordo com Veiga Neto e Gavaldão (2011), os pagamentos por serviços ambientais são capazes de transformar a percepção dos proprietários envolvidos sobre a importância das florestas, fator importante para a promoção da conservação ambiental.

Wunder (2008) redefiniu o PSA como transações voluntárias (não necessariamente baseadas no mercado) entre usuários e prestadores de serviços - não se limitando a mercados ou indivíduos - para gerar serviços externos - benefícios recebidos fora do local que não podem ser cobrados de outra forma.

A compensação do PSA consiste no provimento de um estímulo financeiro ou não para que parte da sociedade realize atividades de proteção e recuperação ambiental, trazendo benefícios para toda a população, ou para uma parcela dela, que até então não oferecia qualquer contrapartida (MARTIN-ORTEGA *et al*., 2019).

O Pagamento por Serviço Ambiental surge como um instrumento econômico, entre as muitas opções de gestão ambiental para lidar com a escassez de recursos naturais dos serviços ecossistêmicos (REIS; SILVA, 2019). Segundo Whately e Hercowitz (2008), os contratos de PSA podem ser feitos de diversas maneiras, a saber:

- Transferências diretas de recursos financeiros;
- Apoio na obtenção de créditos;
- Isenções fiscais e tarifárias;
- Preferências para a obtenção de serviços públicos;
- Acesso às tecnologias e treinamento técnico
- Subsídios econômicos.

Para Engel, Pagiola e Wunder (2008), algumas condições são necessárias para o funcionamento dos esquemas de PSA, tais como as precondições econômicas, culturais, institucionais e informacionais. A precondição econômica refere-se à existência de uma externalidade (um benefício externo) que deve ser compensada pela transação. Essas transações estão condicionadas às regras acordadas de gerenciamento de recursos naturais (BLUNDO-CANTO *et al*., 2018).

Segundo Wunder (2008), os principais serviços ecossistêmicos comercializados são: água, biodiversidade, captura de carbono, qualidade dos solos e beleza cênica.

> Trata-se assim de um instrumento econômico normativo destinado a dirigir e estimular comportamentos para a consecução do objetivo (jurídico, político e econômico), o qual é pré-estabelecido para garantir a preservação dos processos ecológicos essenciais por meio da remuneração do conservador, provedor e/ou viabilizador (MILARÉ, 2013).

De maneira geral, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é um instrumento econômico que financia a conservação, oferecendo remuneração e recompensa àqueles que protegem e promovem os serviços ecossistêmicos, ao mesmo tempo que estimula os beneficiários desses serviços a pagarem por sua manutenção (ENGEL, PAGIOLA e WUNDER, 2008; WUNDER, 2008).

Por fim, para que um programa de PSA tenha êxito, seja efetivo e sustentável, é necessário o trabalho dedicado e permanente para criar espaços de participação interinstitucionais, incorporando a sociedade civil, e para fortalecer instituições, estruturas e organizações. É preciso trabalhar a sensibilização, a comunicação e a educação ambiental, bem como fomentar capacidades nos temas relacionados.

#### 2.6.5.1 O Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil à luz da nova Política Nacional de PSA: Um olhar sobre a Caatinga

A política de meio ambiente brasileira, tida como um conjunto de metas e ferramentas que visam reduzir os impactos negativos da ação antrópica sobre o meio ambiente, foi cunhada especialmente pela Lei nº. 6.938/1981 (Lei da Política Nacional do Meio Ambiente).

Essa legislação instituiu instrumentos de comando e controle, econômicos e informativos, assim como as principais tipologias utilizadas pelo Estado e a coletividade para mitigar os efeitos nocivos das atividades humanas à natureza.

Há quase duas décadas, as ferramentas econômicas passaram a integrar o quadro político nacional com maior expressividade, como a tributação ambiental, a servidão ambiental, a concessão florestal, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), dentre outros.

A utilização de instrumentos econômicos vem ao encontro das alternativas voltadas à internalização e correção dos danos oriundos de atividades econômicas (MMA, 2017). Salienta-se que o PSA é uma dessas espécies de instrumento econômico, caso específico da Lei de N° 14.119, de 13 de janeiro de 2021, regulamentada e sancionada, publicada no dia 14 de janeiro de 2021 no Diário Oficial da União, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (BRASIL, 2021). A lei de PSA representa um avanço sem precedentes para a valoração de esforços capazes de impulsionar a agenda da sustentabilidade no país. Ela reconhece os serviços ecossistêmicos como passíveis de remuneração, define diretrizes e cria segurança jurídica para as iniciativas de PSA. Além disso, a política gera um ambiente favorável capaz de atrair investimentos em prol da conservação, recuperação e preservação dos recursos naturais no país.

A lei reconhece:

> a utilização do pagamento por serviços ambientais como instrumento de promoção do desenvolvimento social, ambiental, econômico e cultural das populações em área rural e urbana e dos produtores rurais, em especial das comunidades tradicionais, dos povos indígenas e dos agricultores familiares (BRASIL, 2021)

Tal lei integra o setor produtivo e ambiental numa mesma agenda e define como prioritárias aquelas populações mais vulneráveis do ponto de vista socioeconômico e climático. Segundo Gossenheimer e Turatti (2021), o instrumento de PSA enquadra-se como uma ferramenta ampla e concisa de instrumento econômico, e que com a regulamentação da lei, vai ampliar o número de experiências de PSA em diversas regiões do território brasileiro, trazendo mais segurança jurídica e contribuindo para um ambiente mais favorável no país. Contudo, está longe de resolver muitos problemas. É necessário analisar as oportunidades nesse novo cenário global, a partir de um ambiente jurídico mais favorável para estimular o avanço das iniciativas, atrair atores sociais e ajudar a garantir um ambiente regulatório favorável para além do alcance desta política.

Diversas críticas foram e ainda são direcionadas ao PSA, no sentido de que as iniciativas podem acabar priorizando o estabelecimento de relações contratuais privatistas; ou mesmo do estímulo ao mercado como solução, sem qualquer questionamento acerca dos atuais padrões de produção e consumo. Além do mais, as citadas iniciativas podem enfraquecer os direitos territoriais de populações tradicionais (JODAS, 2019). Para Reis e Silva (2019), o respeito e a mobilização das populações inseridas nos territórios envolvidos, são fatores de sucesso para o desenvolvimento de programas de PSA.

O mecanismo de PSA pode ser um importante aliado na conservação ou preservação de diversos biomas, podendo envolver as populações próximas, enquadrando-as como protetoras conservacionistas no Brasil (REIS *et al*., 2018). E o Brasil já conta com diversas iniciativas de PSA, embora grande parte das iniciativas esteja localizada em Estados do Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte. Merecem destaque os programas Bolsa Floresta, Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar, Programa de Certificação e o produtor de água da Agência Nacional de Águas (ANA). Vale destacar o importante programa de água que a ANA executa em parceria com diversos municípios brasileiros. Atualmente, existem os seguintes projetos de Produtor de Águas: Extrema, no Estado de Minas Gerais, que é o pioneiro no Brasil; Produtor de Águas no Pipiripau, Distrito Federal; Projeto Apucarana, Estado do Paraná; Projeto Guandu, no Estado do Rio de Janeiro; Projeto Camboriú, Estado de Santa Catarina; Projeto Guariroba, no Mato Grosso do Sul (ANA, 2014; CHIODI; PINTO; UEZU, 2021).

De acordo com o levantamento de Coelho *et al*. (2021), até o ano de 2019 existiam 68 iniciativas de PSA hídricos em andamento ou concluídas no território nacional, das quais, 65 são descritas exclusivamente como PSA hídricos e três como iniciativas multisserviços, que possuem objetivos múltiplos (carbono, biodiversidade e água), sendo contempladas na pesquisa pelas suas contribuições no cenário nacional de PSA e por também apontarem os serviços ambientais hídricos como um dos focos principais. Das 68 iniciativas, 44 são desenvolvidas na Região Sudeste, nove na Região Sul, oito no centro-oeste, quatro na Região Norte e três no Nordeste (COELHO *et al*., 2021).

A maioria dos programas de PSA está situada na Mata Atlântica e em diversas regiões do Sudeste brasileiro. Aos poucos, as experiências de PSA estão se expandindo em direção aos outros biomas, como cerrado (19 iniciativas), Amazônia (três) e caatinga (uma), tendência apontada por Prado *et al*. (2019). Das três iniciativas na região Nordeste, duas estão na Mata Atlântica (Produtor de água – Pratigi e PSA Uruçuca), ambas no Estado da Bahia, e já concluídas. O único programa de PSA no bioma Caatinga e que está ativo na região Nordeste é o Nascentes do São Francisco: O Ministério Público Salvando Rios, no Estado de Sergipe. Conforme descrito, as iniciativas de PSA no Nordeste ainda são escassas, tendo poucas iniciativas, apesar de alguns Estados já terem leis próprias para tal fim, junto ao advento da nova lei federal de PSA.

É oportuno destacar a urgência de estudos e iniciativas para a região, principalmente para conservar e preservar a Caatinga no semiárido brasileiro. Sinaliza Prado *et al*. (2019) que um grande problema para a adesão, na região Nordeste, reside no fato de que muitos comitês de bacias hidrográficas estaduais não estão bem-organizados ou ativos, dificultando um pouco a articulação e implementação de PSAs.

### 2.6.5.2 Análise da Legislação de Pagamento por Serviços Ambientais no Estado de Pernambuco

A urgência em se instituir um programa para a gestão dos recursos de bacias hidrográficas em regiões semiáridas precisa ser pensada com brevidade pelos atores políticos. Uma ordem social que compreenda a relevância do uso racional dos recursos hídricos e o PSA é uma alternativa eficaz para a gestão hídrica no Estado de Pernambuco, haja vista a lógica ser totalmente diferente do mecanismo de comando e controle: prioriza-se não que o usuário pague pelo que polui ou pela água retirada, mas prestigia, sobretudo, quem conserva, fazendo com que o sujeito se torne parte afirmativa no contexto da conservação.

Desse modo, para execução do instrumento, é necessária uma série de medidas que vão desde o diagnóstico ambiental da área até a identificação dos potenciais provedores e

recebedores do serviço, bem como a forma de financiamento e os arranjos institucionais apropriados para a operação do programa.

O Estado de Pernambuco possui a Lei 15.809/16, que institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais. Tal lei estabelece conceitos, objetivos e diretrizes da Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, cria o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e o Fundo Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e os divide em serviços de aprovisionamento e serviços de suporte e regulação (REIS; SILVA, 2019).

De acordo com Reis (2018), já existiram duas iniciativas de pagamentos por serviços ambientais no estado de Pernambuco, antes da legislação atual, o Projeto Água do Parque, no Parque Estadual Dois Irmãos, localizado em Recife (PE), e o Projeto Carbono Vivo, nos assentamentos Chico Mendes (Ronda) e Serra Grande localizados na região da microbacia do rio Natuba, na bacia hidrográfica do rio Tapacurá, nos municípios de Pombos e Vitória de Santo Antão (PE).

Apesar da implantação da lei de PSA em Pernambuco, ainda não existe nenhum programa efetivado no Estado. No entanto, já existiram iniciativas em cooperação para o primeiro programa de PSA, que foi o Projeto Produtor de Água do Bitury no município de Belo Jardim, na região Agreste de Pernambuco. Para tal projeto, já constava uma dotação orçamentária para execução que foi dirigida por vários órgãos estaduais e hoje está abandonada.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), órgão ligado à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI), e a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) assinaram um termo de cooperação técnica e financeira de incentivo a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação na área de gestão de recursos hídricos, com um investimento de R$ 1 milhão. FACEPE e APAC atuarão em conjunto no desenvolvimento de metodologias e na criação de ferramentas de tecnologia da informação e comunicação (SECTI/PE, 2021).

Ainda de acordo com SECTI/PE (2021), vão ser investidos recursos do Fundo Estadual de Meio Ambiente (FEMA), da ordem de investimento de R$ 1,8 milhão e será aberto um edital para financiar projetos da sociedade civil que visem à recomposição florestal em áreas de nascentes. Essa restauração deve ocorrer a partir de sistemas agroflorestais e focar em locais degradados ou em processo de degradação dos biomas de Mata Atlântica e Caatinga.

A região do Sertão, local em que a Caatinga é predominante, apresenta grande pressão antrópica sobre os recursos naturais, especialmente os florestais (REIS NETO; SILVA; ARAÚJO, 2018). Ainda de acordo com Reis Neto, Silva e Araújo (2018), sob o ponto de vista

jurídico, a lei do PSA pode ser implementada em Pernambuco para conservação da Caatinga. Nessa perspectiva, apresentaremos os subprogramas da lei de PSA de Pernambuco e uma análise sobre o que seria mais adequado para a região sob análise neste estudo.

A política estadual de Pagamento por Serviços Ambientais possui os seguintes objetivos:

> incentivar o mercado de serviços ambientais e reconhecer a sua valoração econômica e social para a recuperação e equilíbrio ecológico, preservar e/ou conservar o patrimônio ambiental do Estado de Pernambuco, promover projetos de PSA, fomentar o mercado de serviços ambientais (PERNAMBUCO, 2016).

O Pagamento por Serviços Ambientais de Pernambuco é dividido em cinco subprogramas, como descrito no Quadro 6.

Quadro 6 – Subprogramas Inclusos no Pagamento por Serviços Ambiental de Pernambuco

| SUBPROGRAMAS |
|---|
| (i) Subprograma PSA Restauração |
| (ii) Subprograma PSA Biodiversidade |
| (iii) Subprograma PSA Água |
| (iv) Subprograma PSA Carbono |
| (v) Subprograma PSA Beleza Cênica |

Fonte: Reis e Silva (2019)

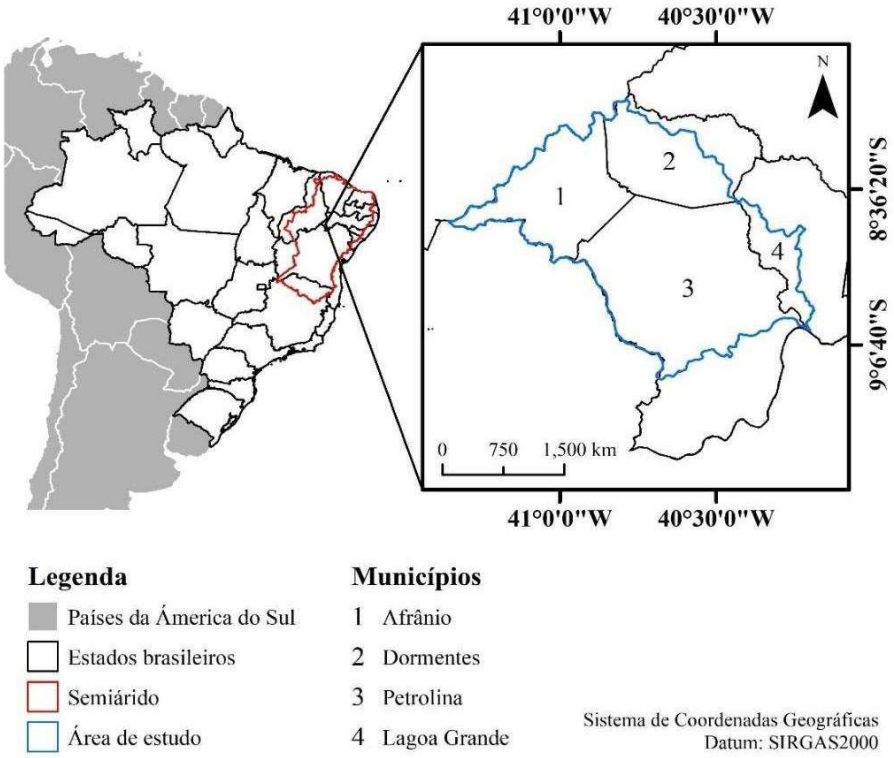
Os subprogramas são verdadeiras linhas de ações temáticas que vão balizar o contrato de PSA, assim como seus requisitos, ou seja, os critérios para o PSA Biodiversidade e o PSA Água, por exemplo, são diferentes e possuem regulamentações distintas; contudo, nada impede que, em uma mesma localidade, seja incluída em mais de um subprograma, desde que os requisitos de ambos sejam cumpridos (REIS NETO; SILVA; ARAÚJO, 2018). Em virtude do objetivo do presente estudo, apenas será analisado o PSA Água na proposta de PSA para bacias hidrográficas, tema que, portanto, será tratado nos Resultados e Discussão.

# 3 MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo aborda uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro, localizada na Microrregião de Petrolina, Sertão de Pernambuco, com uma área de aproximadamente 982.563,3 km², onde a precipitação anual é baixa, porém distintamente sazonal (PENNINGTON; LEHMANN; ROWLAND, 2018). De acordo com a Figura 5.

Figura 5 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE




Fonte: autor (2022)

A área do semiárido brasileiro inclui os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, sudeste do Piauí, Sergipe e norte de Minas Gerais (IBGE, 2016). O objeto do presente estudo é a bacia hidrográfica do Riacho do Pontal, que está localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, precisamente no meio do semiárido brasileiro, cortando quatro municípios: Afrânio, Dormentes, Lagoa Grande e Petrolina, entre 08º19’00” e 09º13’24’’ de latitude sul, e 40º11’42” e 41º20’39” de longitude oeste (figura 5).

O Riacho Pontal tem sua nascente no extremo oeste do estado de Pernambuco, entre os limites dos estados do Piauí e Bahia, no município de Afrânio (SILVA *et al*., 2016). A bacia do Riacho Pontal tem na sua foz uma área de drenagem de 6334 km², desembocando na margem

esquerda do rio São Francisco, depois de percorrer uma distância de aproximadamente 200 km, apresentando como direção predominante o sentido noroeste-sudeste (SILVA *et al*., 2016). O dreno principal da bacia tem um comprimento de 206 km e segundo a classificação de Strahler (1957) é um rio de ordem quatro (GALVINCIO; MOURA; RIBEIRO, 2006). Com declividade abaixo de 15%, tem a mediana na ordem de 2%, com relevo plano na maior parte do território, com cotas que variam entre 700 e 360 m. A vegetação é do tipo Caatinga e é classificada como floresta sazonalmente seca (GALVINCIO; MOURA; RIBEIRO, 2006).

## 3.2 PROCESSAMENTO DE IMAGENS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA

Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e utilização do software ArcGIS, além de imagens do MAP BIOMAS para geração de mapas de uso da terra para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2020, de modo a permitir uma análise de 35 anos do uso da cobertura da terra. Foi visto que existe indisponibilidade de dados para alguns anos, por isso a escolha dos anos supracitados. A coleta dos dados foi realizada por meio do Projeto Anual Brasileiro de Mapeamento e Uso da Terra e do Solo (MapBiomas) numa série multitemporal para o bioma Caatinga de 1985-2020 da coleção 6.

O MAPBIOMAS é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG (Sistema de Informação Geográfica) e ciência da computação. Estes utilizam processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. Os mapas têm sua melhor aplicação em escalas até 1:100.000 e são gerados a partir de imagens LANDSAT 8, com resolução espacial de 30 metros. Assim, cada pixel das imagens é classificado entre 27 classes de uso da terra (MAPBIOMAS, 2019).

## 3.3 ESQUEMA METODOLÓGICO DA ESTRUTURA FUNDIÁRIA

Para analisar a estrutura fundiária da bacia do Pontal-PE foram coletados dados secundários do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) do ano de 2018 e da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE de 2020, por dados gerais dos municípios da bacia (em hectares) referentes ao número de estabelecimentos, área ocupada e área média das propriedades rurais.

Buscando classificar o quadro geral da estrutura fundiária do país, o INCRA atualmente divide os imóveis rurais em quatro grandes grupos levando em consideração as suas dimensões a partir da quantidade de Módulo Fiscal (MF).

O módulo fiscal representa uma unidade de medida agrária utilizada no Brasil, que foi instituída pela Lei nº 6.746 (BRASIL, 1979). É expressa em hectares e é variável, sendo fixada para cada município (LANDAU *et al*., 2012).

A partir desses indicadores, os quatro grandes grupos se dividem e são agrupados, em: minifúndios, que têm até 1 (um) módulo fiscal; pequenos imóveis rurais, que são as propriedades entre 1 (um) e 4 (quatro) módulos fiscais; médios imóveis rurais, que contém mais de 4 (quatro) e menos de 15 (quinze) módulos fiscais; e os grandes imóveis rurais, que são aqueles que possuem mais de 15 (quinze) módulos fiscais (INCRA, 2018).

Estas são unidades de medida expressa em hectares, no entanto, eles não possuem a mesma dimensão em diferentes áreas do Brasil, pois, são os municípios os responsáveis por determinarem a quantidade de hectares que cada módulo fiscal deve conter. De acordo com o INCRA (2018), a medida expressa em hectares para os municípios de: Afrânio, Dormentes, Lagoa Grande e Petrolina é de 55 (ha) constante no SNCR. O MF da pequena propriedade compreende de 0 a 240 (ha) (INCRA, 2016). Visto então que os quatro municípios da bacia estão elencados em propriedades de até 4 MF, caracterizados como pequena propriedade.

Nesse sentido, foi considerada a classificação das propriedades rurais de acordo com MF, segundo Alcântara Filho e Fontes (2009):

- Menor que um módulo fiscal: minifúndio;
- 1 a 4 módulos fiscais: pequena propriedade;
- 4 a 15 módulos fiscais: média propriedade;
- Mais de 15 módulos: latifúndio.

A classificação de imóveis rurais, em relação ao tamanho da área, é uma variável a ser considerada na identificação da dinâmica fundiária (FAGUNDES; BORGES, 2016). Segundo INCRA (2018), esse critério tem a vantagem de contemplar o tipo de utilização predominante no município, corroborando com o exigido no Decreto nº 84.685/1980. Explica também que em um município com estrutura produtiva caracterizado por um grande número de pequenas e médias propriedades, dedicadas à lavoura intensiva, e um pequeno número de grandes propriedades, dedicada à pecuária extensiva, o Módulo Fiscal será fixado em um valor intermediário entre elas.

O tipo de exploração predominante no município; a renda obtida com a exploração predominante; outros tipos de explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam significativas em função da renda e da área utilizada; e por último, o conceito de propriedade familiar (HOFFMANN; NEY, 2010). Segundo Nobre, Leite e Marques

(2021) essas definições são realizadas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), levando em consideração fatores como o tipo de exploração predominante no município, a renda obtida no tipo de exploração predominante, entre outros fatores definidos no Estatuto da Terra.

## 3.4 O USO DO ÍNDICE DE GINI E O CÁLCULO DE CONCENTRAÇÃO FUNDIÁRIA

O Índice de Gini é uma medida de concentração ou desigualdade comumente utilizada na análise da distribuição de renda, mas que pode ser utilizada para medir o grau de concentração de qualquer distribuição estatística. Assim, pode-se medir o grau de concentração da posse da terra em uma região, da distribuição da população urbana de um país pelas cidades, de uma indústria considerando o valor da produção ou o número de empregados de cada empresa (HOLANDA *et al.*, 2006).

Neste estudo, aplica-se para medir o grau de concentração de terras, calculado por meio da relação entre a proporção acumulada de terras e a proporção dos estabelecimentos rurais, possibilitando contrastar a distribuição da estrutura fundiária da bacia no ano de 2018, visto que a disponibilidade de dados do SNCR contém apenas dados até este ano. Portanto, não se buscou aprofundar a análise até os primórdios dos estudos de perfil fundiário no Brasil, consequentemente nos municípios da bacia do Pontal-PE, para analisar o seu esquema de ocupação ao longo do tempo.

O índice assume valores entre zero e um, quanto mais próximo de zero, menor é a concentração de terras e quanto mais próximo de um, maior é esta concentração. No caso do estudo sobre a distribuição de terras, 0 corresponde à completa igualdade (a terra está igualmente dividida entre os imóveis), portanto, quanto mais próximo de 1 estiver o valor, mais desigual será a distribuição das terras (LEITE, 2018). O coeficiente de Gini pode ser calculado a partir da Curva de Lorenz. Ele corresponde ao dobro do valor da área entre a Curva de Lorenz e a Linha da Perfeita Igualdade. Trata-se, portanto, de uma medida de afastamento de uma dada distribuição em relação a uma situação de perfeita igualdade (MEDEIROS, 2012).

Neste sentido, o índice, é medido, neste estudo, através da seguinte forma (HOFFMANN, 1998):

$$G = 1 - \sum_{i=1} (Yi + Yi-1)(Xi - Xi-1) \quad \textbf{(1)}$$

Em que: G = Índice de Gini; $Yi$ = a proporção acumulada das áreas rurais por estratos de área; $Xi$= a proporção acumulada do número de estabelecimentos agropecuários por estratos de área com dados de 2018. Onde os dados de área (ha) e de número de estabelecimentos foram agrupados em estratos de área, no caso: menos de 01 ha; de 01 a menos 02; de 02 a menos 05; de 05 a menos 10; de 10 a menos 20; de 20 a menos 50; de 50 a menos 100; de 100 a menos 200; de 200 a menos 500; de 500 a menos 1.000; acima de 1.000 ha. Hoffman (1998) comenta que podem existir diferenças no valor obtido no cálculo do índice de Gini dependendo do número de classes definidas, sendo fundamental ter-se o maior número de classes possível, a fim de minimizar o erro da estimativa da desigualdade dentro de cada classe. Assim, procurou-se agrupar os dados de área e de número de estabelecimentos disponíveis nos censos agropecuários analisados com o maior número possível de estratos de área (classes), chegando-se assim a um total de estratos de área. Utilizou-se a classificação feita por Câmara (1949), que mede a concentração da posse da terra de acordo com o índice de Gini, figura 6, em que qualquer valor acima de 0,500 pode ser considerado inadequado do ponto de vista distributivo (CÂMARA, 1949).

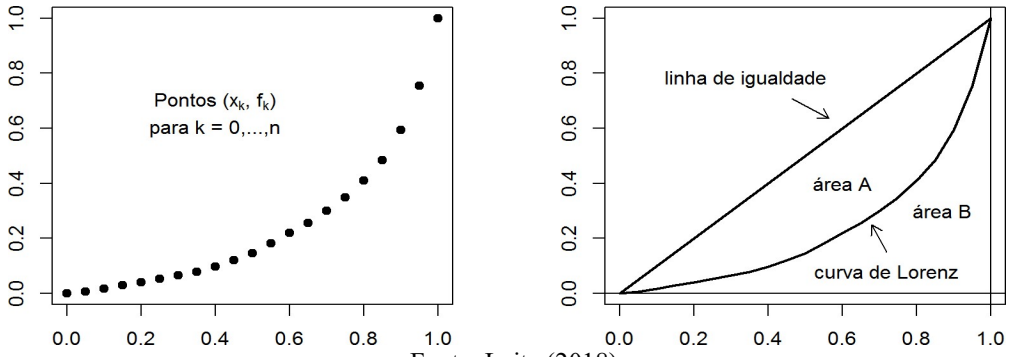
Tabela 1 - Classificação do índice de Gini para concentração da posse da terra

| ÍNDICE DE GINI | CLASSIFICAÇÃO |
|---|---|
| 0,000 a 0,100 | Concentração Nula |
| 0,101 a 0,250 | Concentração Nula a Fraca |
| 0,251 a 0,500 | Concentração Fraca a Média |
| 0,501 a 0,700 | Concentração Média a Forte |
| 0,701 a 0,900 | Concentração Forte a Muito Forte |
| 0,901 a 1,000 | Concentração Muito Forte a Absoluta |

Fonte: Câmara (1949)

No Brasil, o uso deste índice para a análise da concentração fundiária remete ao Censo Agrícola de 1940, do IBGE, quando foi utilizado para medir a concentração da posse dos estabelecimentos agrícolas (INCRA, 2001). Entretanto, pouca atenção tem sido dada às imprecisões do uso do índice de Gini, como instrumento de aferição da concentração fundiária.

Figura 6 - Construção da curva de Lorenz para cálculo do índice de Gini




Fonte: Leite (2018)

A curva de Lorenz traça a fração cumulativa de uma variável aleatória versus a fração acumulada da população receptora dessa variável distribuída, afirma Chaves, (2009). Em linhas gerais, Medina (2001) diz que a curva de Lorenz representa a porcentagem cumulativa de renda recebida por um determinado grupo populacional ordenados em ordem crescente de acordo com o valor de sua renda. No caso deste estudo o objeto para o índice é territorial.

## 3.5 AQUISIÇÃO DOS DADOS DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR)

Criado com o objetivo de monitorar propriedades rurais, auxiliar no combate ao desmatamento e incentivar o devido manejo sustentável das propriedades no campo, o governo brasileiro desenvolveu o Cadastro Ambiental Rural (CAR), inserido no Serviço Florestal Brasileiro (ROITMAN *et al*., 2018; JUNG *et al*., 2017).

Em relação ao CAR, as informações do cadastro são declaratórias, de responsabilidade do proprietário ou possuidor rural, são registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para os todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais.

De acordo com Santos (2018), no site do CAR está disponível a plataforma eletrônica do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), onde são disponibilizados para acesso em módulo de consulta pública os dados do CAR para as categorias: Áreas de Preservação Permanentes (APPs), área consolidada, área de pousio, hidrografia, localização de nascentes, áreas de uso restrito, servidão administrativa e área total de cada imóvel já cadastrado. Tais informações possibilitam a realização de análises ambientais, entre elas o monitoramento ambiental de áreas protegidas com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. É possível a utilização destes dados através de arquivo *shapefile*, na plataforma que integra as informações, que são gerenciadas pelos estados, para todo o Brasil, através do website <http://www.car.gov.br>, mediante consulta por ‘Unidade Federativa’ e posteriormente ‘Município’.

No site do CAR no ambiente SICAR, foram baixadas todas as informações da área total de cada imóvel cadastrado e localizado nos quatro municípios da bacia do Pontal-PE, onde foram tratadas as informações de cadastro até o ano de 2021 na base de dados vetorial. Feito isso, o processo de elaboração do mapa concretizou-se no sistema *ARCGIS* 10.2.2. Após a integração dos dados, foi possível identificar a situação exata do número de CAR feito por cada município dentro da bacia. Esta análise teve o intuito apenas de verificar os números de CAR realizados na bacia desde o início do CAR em 2014 até o ano de 2021 para os quatro municípios.

Informa-se que não consta cadastrados os dados em formato *shapefile*, para a data em questão, para os municípios (Afrânio, Dormentes e Lagoa grande) em relação a remanescentes de vegetação nativa, Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Uso Restrito, áreas consolidadas e Reserva Legal, existindo apenas o número de CAR feito por cada município. Sobre os dados do município de Petrolina no SICAR, constam todos os dados vetoriais, porém apresentaram problemas na sua execução, não produzindo informação alguma em relação a áreas de preservação, apenas apresentando o número total de CAR efetuados, tal qual, os demais municípios da bacia.

Seja por motivo de gestão ou determinação legal é necessário que o governo produza, arquive e divulgue informações, no entanto, a ampliação do volume de dados produzidos pelo governo e a falta de padronização na disponibilização dos dados públicos dificulta o acesso destas informações pelo interessado por diversas razões, tais como: Políticas de licenças para uso de dados; Falta de um dicionário de dados explicando a natureza dos dados; Arquivos em formatos proprietários; Dados publicados na web, porém desatualizados; Dificuldades em localizar os dados na Web (ROCHA, 2014).

## 3.6 O USO DO SWAT PARA MODELAR SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA

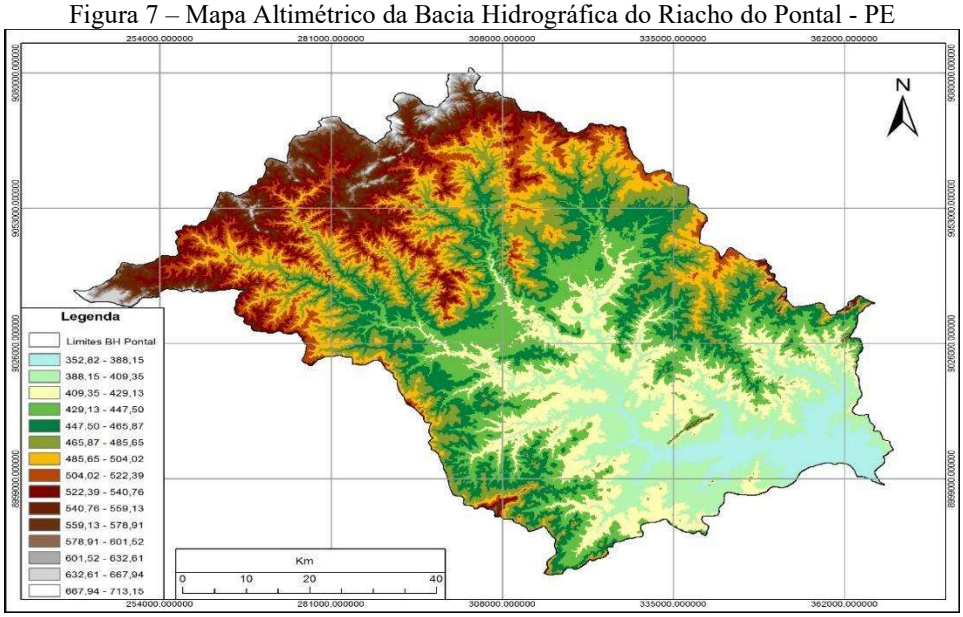
Este estudo fez uso do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), onde foram processados os dados de uso dos anos 1961 até 2021 da bacia hidrográfica do Riacho do Pontal-PE. Esse modelo já foi calibrado na tese de Miranda (2017). Assim, neste estudo essa calibração foi ajustada com a geração de dados pelo SUPEr produzidos de 1961 a 2021.

### 3.6.1 Coleta de dados e pré-processamento do SWAT

Para a devida execução do modelo SWAT fazem-se necessários dados observados em cinco componentes: relevo, clima, solos, uso e cobertura da terra e reservatórios:

**Relevo:** os dados espaciais do relevo foram obtidos pela base de dados do projeto TOPODATA do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (http://www.dsr.inpe.br/topodata/), que disponibiliza produtos corrigidos da missão da NASA SRTM (*Shuttle radar topography mission)*, que tem como objetivo mapear a topografia da superfície terrestre. Os dados deste modelo em formato de imagem, possuem resolução espacial de 30 m e valores de altitude (m). A bacia hidrográfica em análise possui uma altimetria que varia de 352 a 713 metros de altitude. A avaliação das características da bacia hidrográfica do riacho Pontal permitiu a observação do comportamento espacial da altitude, através do modelo digital de elevação (MDE) apresentado na (Figura 7).

Figura 7 – Mapa Altimétrico da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE



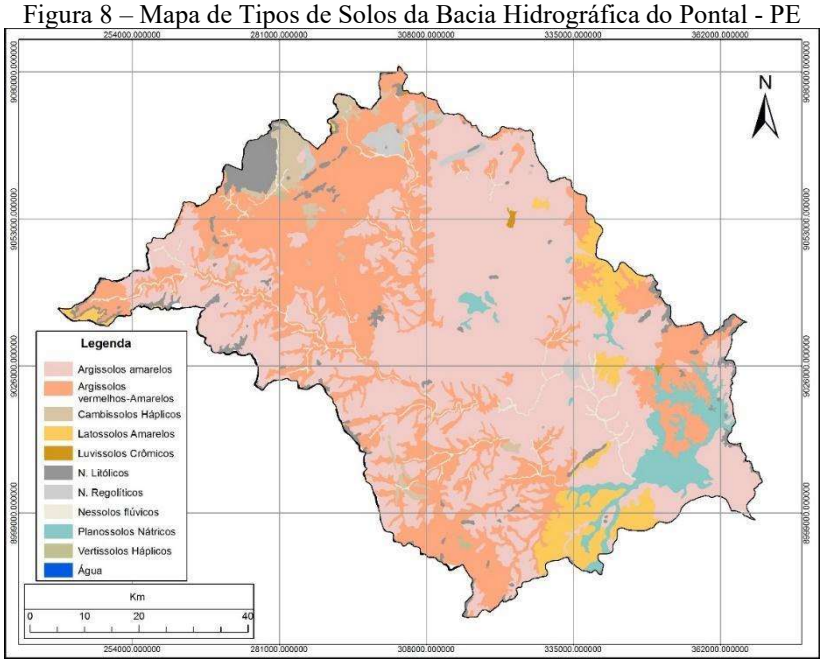

Fonte: Autor (2020)

**Clima:** os dados climáticos da série de 2000 a 2022 foram obtidos através de dois bancos de dados, (*i*) dados pluviométricos diários (*i.e.* precipitação) através do site da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima), e em seguida (*ii*) dados meteorológicos completos (precipitação, radiação global, umidade relativo do ar ou temperatura do ponto de orvalho, temperatura média do ar, temperaturas máximas e mínimas do ar e velocidade do vento) através da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ;http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php).

**Solos:** os dados espaciais das características dos solos foram obtidos através de dois bancos de dados, (*i*) o mapeamento espacial dos solos veio do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esses dados são disponibilizados em formato de mapa com escala 1:250.000 e no site https://downloads.ibge.gov.br/. Em seguida, (*ii*) os dados relativos às características físico-químicas de cada tipo de solo foram coletados na base de dados da EMBRAPA Solos. Os tipos de solos presentes na área em estudo podem ser

encontrados na figura 8. Há presença na Bacia de classes de solos como: Latossolo Amarelo, Argissolos Vermelho-Amarelo, Planossolos, Cambissolos, Neossolos Areias Quartzosas e Neossolos Litólicos. Observa-se a presença de 11 classes. Destas, os Argissolos são os mais representativos, ocupando 85,2% da área de estudo. São solos que abrigam outros grupos como os Argissolos Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos. São solos que podem variar de moderadamente profundos a profundos, moderadamente drenados a bem drenados, a depender das condições dos ambientes onde se formam.

Figura 8 – Mapa de Tipos de Solos da Bacia Hidrográfica do Pontal - PE




Fonte: Autor (2020)

**Uso e cobertura da terra:** os dados iniciais de uso e cobertura foram obtidos em formato de imagens a partir do banco de dados do projeto MapBiomas disponível no site (https://mapbiomas.org/google-earth-engine).

**Reservatórios:** por fim, os dados de tempo de operação e características físicas de cada reservatório foram obtidos junto à APAC através de solicitação via e-mail.

### 3.6.2 Processamento no SWAT

Os processos físicos associados ao movimento da água e dos sedimentos, crescimento de plantas, ciclagem de nutrientes e outros, são modelados diretamente pelo SWAT por meio destes dados de entrada (NEITSCH et al., 2011). O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base em suas propriedades físicas, preservando os parâmetros espacialmente distribuídos e as características homogêneas da bacia inteira. A subdivisão de uma bacia hidrográfica em sub-bacias permite caracterizar melhor os problemas difusos, tornando mais

fácil a identificação de focos de degradação de recursos naturais, a natureza dos processos de degradação e o grau de comprometimento e sustentabilidade do meio.

Segundo Neitsch et al. (2011), a fase da terra do ciclo hidrológico simulado pelo SWAT é baseada na equação do balanço hídrico, que é a força responsável por tudo que ocorre na bacia hidrográfica, dado pela seguinte Equação 1:

$$SW_t = SW_0 + \sum^t (R_{day} - Q_{curf} - E_a - W_{ceep} - Q_{gw}) \quad \textbf{(2)}$$

Onde:

$SW_t$ é a quantidade de água no solo da camada da zona radicular simulada no tempo t (mm); $SW_0$ é a quantidade inicial de água no solo no dia *i* (mm); *t* é a duração do ciclo hidrológico simulado (dias); $R_{day}$ é a quantidade de água precipitada no dia *i* (mm); $Q_{curf}$ é a quantidade de escoamento superficial no dia *i* (mm); $E_a$ é quantidade de água evapotranspirada no dia *i* (mm); $W_{ceep}$ é a quantidade de água que percola da camada simulada para a camada inferior no dia *i* (mm); $Q_{gw}$ é a quantidade de água que retorna ao curso d'água no dia *i* devido ao escoamento sub-superficial (mm). Já para o cálculo de estimativa do escoamento superficial, o SWAT fornece os métodos da Curva Número (CN) e o de infiltração de Green e Ampt, e para o cálculo da evapotranspiração o modelo disponibiliza os métodos de Penman-Monteith, Priestley- Taylor e o de Hargreaves.

O método da Curva Número (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) órgão do *United States Department of Agriculture* (*USDA*) é utilizado para estimar o escoamento superficial. Ele utiliza dados de precipitação e dos parâmetros de retenção, que variam de acordo com o solo, o uso do solo, declividade, e conteúdo da água (PRUSKI; GRIEBELER; SILVA, 2001; TONG; NARAMNGAM, 2007). Quanto maior o coeficiente de CN, maior o potencial de escoamento superficial (ABBASI; MANNAERTS; MAKAU, 2019). De tal forma, o modelo de CN determina, também, a quantidade de chuva que infiltra no solo ou no aquífero (ZHAN; HUANG; AVE, 2004).

Para simulação da carga de sedimentos nas bacias, é utilizada a Equação da Perda de Solo Modificada (*Modified Universal Soil Loss Equation* - MUSLE). O modelo foi estruturado com base em uma combinação linear dos parâmetros mais correlacionados com o processo de erosão da água no solo por (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Estes parâmetros são de fundamental importância para entender a dinâmica do transporte dos químicos no meio ambiente (ABBASI; MANNAERTS; MAKAU, 2019; LUO; ZHANG, 2009).

### 3.6.3 Auto calibração e validação

Nesta etapa, o projeto foi calibrado utilizando o software SWAT-CUP (*SWAT Calibration and Uncertainty Programs*). SWAT-CUP é um software que integra as saídas do modelo SWAT e cinco algoritmos de calibração, dos quais o SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting 2*; (ABBASPOUR; JOHNSON; VAN GENUCHTEN, 2004), se destaca pela velocidade e precisão no processamento, que consiste em três grandes etapas: modificar os valores das entradas do SWAT, rodar o SWAT e extrair os valores de saída desejados. Detalhes sobre o funcionamento do SWAT-CUP são descritos por Rouholahnejad et al. (2012).

A calibração ocorreu no nível de vazão. Os dados de vazão foram baixados no site http://hidroweb.ana.gov.br/, banco de dados hidrológicos da ANA (Agência Nacional de Águas). Primeiro passo na calibração tradicional de modelos é separar a série temporal de dados observados em dois períodos, um para a calibração e outro para verificação do modelo. No período de calibração os parâmetros de entrada do modelo são variados até se obter um ajuste aceitável. Já para o período de verificação (validação) do modelo, os parâmetros obtidos no período de calibração são utilizados para executar o modelo e seu ajuste é analisado (ARNOLD et al., 2000). Na avaliação do desempenho de modelos é usual utilizar métodos estatísticos, sendo um dos mais usuais critérios estatísticos, o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970), (Equação 2).

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (E_{ob} - E_s)^2}{\sum_{i=1}^{N} (E_{ob} - E_m)^2} \quad \textbf{(3)}$$

Onde:

$E_{ob}$ é o valor do evento observado.

$E_s$ é o valor do evento simulado.

$E_m$ é o valor médio do evento observado.

### 3.6.4 Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco – SUPer

Foi utilizado o SUPEr - Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco, para discutir os resultados com o balanço de hídrico da bacia do Pontal-PE, site: https://super.hawqs.tamu.edu/. Utilizando como base o modelo hidrológico SWAT - Soil and Water Assessment Tool, o Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco (SUPer), que é um projeto automático de modelagem hidrológica pernambucano que fornece via interface interativa informações pré-estabelecidos sobre as bacias hidrográficas do estado. Através da manipulação do SUPEr é possível obter tabelas, mapas e gráficos relevantes sobre

sedimentos, patógenos, nutrientes, DBO/DQO, pesticidas e temperatura da água (SUPER, 2021).

O SUPEr fornece uma interface interativa da web e mapas; dados de entrada pré-carregados; resultados que incluem tabelas, gráficos e dados de saída; um guia do usuário, e projetos de modelagem com desenvolvimento, execução e armazenamento online para os usuários (GALVÍNCIO, 2021). Caso o trabalho exija mais uma subseção, este modelo deve ser utilizado. Os títulos das seções e subseções devem seguir uma ordem lógica e apresentados de acordo com este modelo. A tabela 2 demonstra as informações importantes de composição da modelagem em pesquisa.

Tabela 2 – Informações sobre a modelagem hidrológica da pesquisa

| | |
|---|---|
| Starting simulation date | 01/01/1961 |
| Ending simulation date | 12/31/2021 |
| Set-up/warm-up years | 3 |
| SWAT output print setting | Daily |
| SWAT model version to run | SWAT 2012 rev. 670 |
| Output collected | Daily Average ET (mm) and ET Actual evapotranspiration (mm H2O) for interest area |

Fonte: o autor (2022)

Os efeitos da modelagem podem ser utilizados para a gestão hídrica regional e as suas respectivas tomadas de decisão, sendo disponibilizados gratuitamente em sítio eletrônico (https://super.hawqs.tamu.edu/#/). Os dados podem ser observados em amplo espectro, podendo subsidiar outras pesquisas e promover práticas responsivas de gestão das águas.

## 3.7 MÉTODO DE VALORAÇÃO DE CONTINGENTE (MVC)

Do ponto de vista teórico, por meio do Método de Valoração Contingente é possível mensurar valores de uso e não uso. O método baseado no custo de viagem, por exemplo, capta apenas os valores de uso (BERTONI *et al*., 2019).

Uma das limitações do MVC está em captar valores ambientais que indivíduos não entendem, ou mesmo desconhecem. Se as pessoas questionadas nas pesquisas sobre sua disposição a pagar são capazes de entender claramente a variação ambiental que está sendo apresentada, então esse método pode ser considerado ideal. Entre suas limitações, o método de

valoração contingente é baseado em mercados hipotéticos, o que pode levar a valores que não refletem as verdadeiras preferências.

Em face do exposto, o MVC é empregado neste estudo para investigar as preferências declaradas pelas partes interessadas sobre a conservação dos serviços ecossistêmicos de regulação da água na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal-PE, em um cenário hipotético, onde os moradores do território pagariam uma taxa mensal para trabalhos de conservação ambiental da Caatinga e a melhoria hídrica dos serviços ecossistêmicos de regulação da água. É reconhecido que esta técnica é capaz de identificar a informação instrutiva a todas as partes envolvidas na conservação e na gestão dos serviços ecossistêmicos (FAN; OU; CHEN, 2019).

## 3.8 COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA

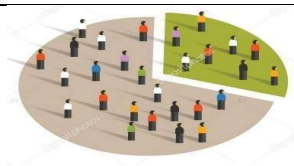
Por requerer o uso de questionários, que foi adaptado de (REIS, 2018) onde envolveu entrevistas com pessoas em seu processo, o MCV requer obediência a certos critérios éticos em pesquisa científica. Para atender tais critérios, solicitou-se a autorização para o início da coleta de campo e a continuidade do estudo ao CEP (Comitê de Ética em Pesquisa), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), situado à Avenida das Engenharias, s/n, prédio do Centro de Ciências da Saúde – CCS 1° andar, sala 04, Recife/PE. A entidade é credenciada ao Conselho Nacional de Saúde – CNS, conforme portaria 044/96, sendo o pedido deferido sob número de parecer 3.712.161, relativo ao Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) no. 21327119.2.0000.5208 (ANEXO A).

Dessa maneira, o presente estudo respeitou os direitos e a dignidade do sujeito, tendo como base os preceitos éticos contidos na norma CNS 466/2012, com vistas a assegurar o anonimato, a confidencialidade e a privacidade, a proteção da imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades, inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou aspecto econômico-financeiro da amostra.

## 3.9 TAMANHO DA AMOSTRA

O tamanho total da população inserida na bacia em suas quatro cidades (Afrânio, Dormentes, Lagoa Grande e Petrolina) totaliza 424.689 pessoas, como apontam os dados do último censo do IBGE (2020), conforme mostra a quadro 7.

Quadro 7- População total e população PEA nas 4 cidades da bacia hidrográfica do Pontal-PE

|  | **População Estimada Por Município** | **População Economicamente Ativa (PEA) por Município** |
|---|---|---|
| **AFRÂNIO** | 19.981 | 2.652 |
| **DORMENTES** | 19.246 | 2.323 |
| **LAGOA GRANDE** | 26.090 | 3.027 |
| **PETROLINA** | 359.372 | 70.500 |
| **TOTAL** | **424.689** | **78.502** |

Fonte: IBGE (2020)

O grupo escolhido para a amostragem neste estudo foi o da população economicamente ativa, urbana e rural, das quatro cidades inseridas na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal-PE, que é de 78.502, de acordo com o IBGE (2020). O perfil escolhido para participar das entrevistas foi constituído de pessoas na faixa etária de 18 a 65 anos, que residissem em um dos quatro municípios da bacia. A escolha da pirâmide etária está com base no índice de População Economicamente Ativa do Brasil, que corresponde a pessoas empregadas e desempregadas entre 18 a 65 anos (REIS et al., 2018). Para amostragem foi definida a seguinte equação:

$$n = \frac{N \cdot p \cdot q \cdot (z_{\alpha/2})^2}{(N-1) \cdot e^2 + p \cdot q \cdot (Z_{\alpha/2})^2} \quad \textbf{(4)}$$

Tal que:

$n$ = Número de indivíduos na amostra;

$N$ = Tamanho da População (finita);

$p$ = Proporção populacional de indivíduos que pertence a categoria de estudo;

$q$ = Proporção populacional de indivíduos que não pertence à categoria de estudo $(q = 1 - p)$;

$Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico para o grau de confiança desejado;

$e$ = Margem de erro.

Para calcular o tamanho da amostra do PEA na bacia, foi utilizada a técnica de amostragem aleatória simples. O aprimoramento das técnicas de amostragem aleatória e de inferência estatística permite que hoje seja possível representar boa parcela de uma população, com muita confiabilidade, fazendo uso de um número reduzido de unidades amostrais (PARK; LIM; YOO, 2017). Sendo assim, pode ser participante qualquer pessoa que resida em um município situado no território da bacia hidrográfica do Riacho do Pontal e que esteja inserida

na PEA. Assim, os locais de coleta abrangeram todo o território da bacia hidrográfica, sendo que já na primeira coleta de 2019, foram aplicados questionários nos quatro municípios citados.

## 3.10 MEIO DE ELICIAÇÃO E INSTRUMENTO DE PAGAMENTO

O meio de eliciação para o estudo do MVC/DAP foi o cartão de pagamento (Quadro 8). O cartão de pagamento solicita que as partes interessadas relatam sua disposição para pagar (DAP) como um ponto de uma lista de valores e, em seguida, tratam cada resposta (DAP) como um intervalo (SVENNINGSEN; JACOBSEN, 2018; VOLTAIRE *et al*., 2019; VONDOLIA; NAVRUD, 2019; VOSSLER; HOLLADAY, 2018; YANG *et al.,* 2018).

Quadro 8 -Valores do cartão de pagamento

| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R$ 2,00 | R$ 5,00 | R$ 10,00 | R$ 15,00 | R$ 20,00 | R$ 25,00 | Mais que R$ 30,00 | Não sei |

Fonte: adaptado de Reis (2018)

Dessa maneira, existia a necessidade de um valor inicial (ponto de partida) para a DAP, caso o entrevistado estivesse disposto a pagar alguma quantia. Foi definido como ponto de partida o valor de R$ 2,00, por ser baixo, o que favorece o posterior aumento dele até o máximo que o indivíduo aceitasse pagar ou a diminuição do preço se ele rejeitasse o valor inicial proposto.

Segundo Motta (1997) os instrumentos (ou veículos) de pagamento com que a medida de DAP é captada podem ser: novos impostos, tarifas ou taxas, ou maiores alíquotas nos existentes; cobrança direta pelo uso; ou doação para um fundo de caridade ou uma organização-não governamental. Neste estudo optou-se, por um instrumento ou veículo de pagamento apresentado ao entrevistado, como uma taxa que viria emitida para a casa do optante em nome da SEMAS/PE. Esta entraria na conta como um tributo mensal correspondente a um serviço prestado ao contribuinte, que nesse caso seria a conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação da água do Rio Pontal-PE, que, consequentemente, melhoraria a qualidade e a quantidade de água para consumo humano.

## 3.11 PRÉ-TESTE DO QUESTIONÁRIO

Para a aplicação do questionário final foi aplicado um pré-teste, com o objetivo de identificar e excluir pontos inconsistentes e/ou acrescentar informações pertinentes à proposta deste estudo. O principal objetivo do pré-teste é verificar se o público-alvo entende as perguntas

e as opções de resposta propostas, conforme pretendido pelo pesquisador, e é realmente capaz de responder de maneira significativa (PERNEGER et al., 2015).

Para Gil (2009), o pré-teste é realizado mediante a aplicação de alguns questionários (de 10 a 20) a indivíduos que pertencem a população pesquisada, cuja finalidade é evidenciar falhas na redação do questionário, tais como: complexidade das questões, imprecisão na redação, desnecessidade das questões, constrangimentos ao informante, exaustão, dentre outros. Já Perneger et al. (2015) dizem que uma amostra significativa deve conter entre 10% a 15% de pré-teste do questionário para ser considerada produtiva.

Seguindo as orientações de Gil (2009) e Perneger et al. (2015), foram aplicados 10% do total do universo da pesquisa (40 questionários) entre os dias 25 a 27 de setembro de 2019 no município de Petrolina – PE, que é uma das cidades que está no território da bacia hidrográfica do Pontal-PE. A aplicação do pré-teste foi importante, porém o questionário não teve mudanças em seu formato, sendo aprovado o seu uso no estudo piloto do pré-teste, seguindo todas as orientações para a valoração ambiental que diz o relatório da NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA, 2011).

## 3.12 APLICABILIDADE DO QUESTIONÁRIO E COLETA DE DADOS NO ANO DE 2019

Este estudo utilizou dados recolhidos *in situ* mediante entrevistas realizadas no período de 01 a 18 de outubro de 2019. A região da bacia neste mês estava em período de estiagem. Foram aplicados 392 questionários, distribuídos da seguinte forma: Afrânio (33 moradores), Dormentes (38 moradores), Lagoa Grande (91 moradores) e Petrolina (231 moradores). Como o MVC utiliza uma pesquisa para obter a DAP das partes interessadas, um questionário foi criado para realizar a pesquisa do MVC (APÊNDICE A). O questionário consiste em três seções, totalizando nove perguntas. Na primeira seção tem cinco perguntas com a informação de base socioeconômica (Idade, gênero, município que residia na bacia, escolaridade e renda pessoal mensal).

A segunda parte do questionário continha duas perguntas relacionadas à DAP, a primeira se o entrevistado estaria disposto a pagar pela conservação dos serviços ecossistêmicos de regulação da água da bacia hidrográfica do Rio Pontal-PE. A pergunta (DAP) feita na pesquisa do MVC foi: '*Você está disposto a pagar pela conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação da água da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal*?'. Podendo optar pelo SIM ou NÃO e NÃO SEI, se a resposta fosse positiva, seguíamos para a próxima pergunta, sendo ela, qual o valor monetário a pessoa estava disposta a pagar.

Se o entrevistado não estivesse disposto a pagar, então era perguntado o motivo da sua negativa para a DAP com uma pergunta aberta, relatando o motivo da sua resposta. Investigar a não disposição a pagar é importante, para entender quais variáveis afetam as partes interessadas sobre a resposta negativa (AICHNER; FORZA; TRENTIN, 2017; HILGER *et al.,* 2019; NOEL *et al*., 2019; SHAO; TIAN; FAN, 2018).

A terceira e última seção foi dedicada à percepção sobre os serviços ecossistêmicos de regulação da água da bacia hidrográfica do Riacho do Pontal-PE, quando era perguntado quais eram os serviços ecossistêmicos de regulação da água que o entrevistado reconheceu na bacia hidrográfica.

Com base na (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT., 2005), uma descrição das categorias dos serviços ecossistêmicos de Regulação da água e os seus exemplos foram apresentados aos entrevistados o quadro 2 e foram adaptados para a Caatinga no semiárido brasileiro. A percepção sobre os serviços ecossistêmicos é importante, pois destaca nas partes interessadas um olhar positivo para os serviços ecossistêmicos que estão sendo estudados (BERG *et al.*, 2017; CANOVA *et al*., 2019; QUEIROZ *et al*., 2017; TORKAR; KRAŠOVEC, 2019).

## 3.13 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS DADOS

Para analisar os dados coletados na bacia foram aplicadas estatísticas descritivas e inferenciais do teste do qui-quadrado, que foi realizado para identificar fatores que influenciam a DAP da população da bacia. Esse teste é não paramétrico, o qual avalia a hipótese nula de que duas variáveis categóricas (DAP versus um fator gênero, por exemplo) são independentes, contra a hipótese alternativa de que não são independentes (SUR; CHEN; CANDÈS, 2019).

Os resultados obtidos no questionário foram tabulados no Microsoft Office Excel 2019 visando à elaboração de gráficos para facilitar a importação das planilhas destinadas ao programa SPSS, utilizado para análise estatística.

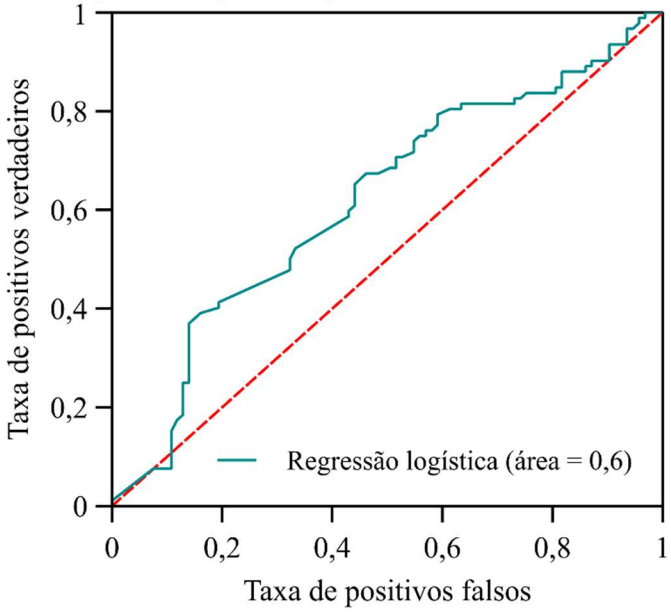
Como em outras pesquisas (ENRIQUEZ-ACEVEDO *et al*., 2018; LAGBAS, 2019; OBENG; AGUILAR, 2018; RIZEEI *et al.,* 2018), uma regressão binária foi usada para explicar como variáveis socioeconômicas independentes predizem as respostas dos respondentes a perguntas sim / não (resultado dicotômico) relacionadas à disposição a pagar.

Sendo este, o modelo aplicado:

$$P(Y) = \frac{1}{1+e^{-(-0.0003- \ .0001\times AG+0.007\times SX+ \ .0002\times RD-0.0021\times ED-0.004\times MW)}} \quad \textbf{(5)}$$

Baseando-se nas informações: faixa etária (AG), gênero (SX), residência (RD), escolaridade (ED) e faixa de renda MVC, é possível obter a probabilidade P(Y). Assim, o modelo de regressão *beta* torna-se também uma alternativa neste estudo. O modelo de regressão *beta,* junto ao MVC, busca justamente a versatilidade da distribuição *beta* em modelar uma variedade de incertezas (BISHOP; TIMMINS, 2019; FREEMAN *et al.,* 2019). A regressão logística (Figura 9) foi realizada para predizer o resultado das variáveis dependentes (dispostas a pagar ou não) com base nas variáveis preditoras fornecidas pelo questionário.

Figura 9 – Regressão logística binária MVC/DAP




Fonte: o autor (2019)

A DAP foi explicada fundamentalmente por duas variáveis com *(p > 0,07*): primeiro pelo gênero da população pesquisada ($p = 0.0330$), e a segunda pelo município dos residentes na bacia hidrográfica (*p = 0,0303*). A regressão logística binária mostrou que à medida que a idade da população aumenta (> 50), a probabilidade da DAP diminui significativamente.

## 3.14 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Para avaliar o desempenho econométrico do método do MVC, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson. Ele é um dos métodos usados para uma ampla classe de relacionamentos entre variáveis. É baseado na matriz de covariância dos dados para avaliar a força do relacionamento entre dois vetores (MU; LIU; WANG, 2018; FRANÇA, 2021). Para entender os efeitos de alguns parâmetros meteorológicos na disposição a pagar, uma das ferramentas que pode ser utilizada é a Correlação de Pearson (r), que é uma medida de associação linear entre variáveis e é dado pela Equação (1):

$$(r) = \frac{1}{n-1}\sum \frac{(xi - \mathrm{X})\ (yi - \mathrm{Y})}{sx \qquad sy} \tag{6}$$

Onde:

n - Número de amostras.

$xi$ - Amostra da variável x.

$\bar{X}$ - Média da variável x.

$sx$ - Desvio padrão da variável x.

$yi$ - Amostra da variável y.

$\bar{Y}$ - Média da variável y.

$sy$ - Desvio padrão da variável y.

A constante (r) é definida no intervalo (-1,1). O sinal indica direção negativa ou positiva do relacionamento e o valor absoluto sugere a força da relação entre as variáveis. O coeficiente de correlação de Pearson de duas variáveis *X* e *Y* é formalmente definido como a covariância das duas variáveis divididas pelo produto de seu desvio padrão (que atua como um fator de normalização).

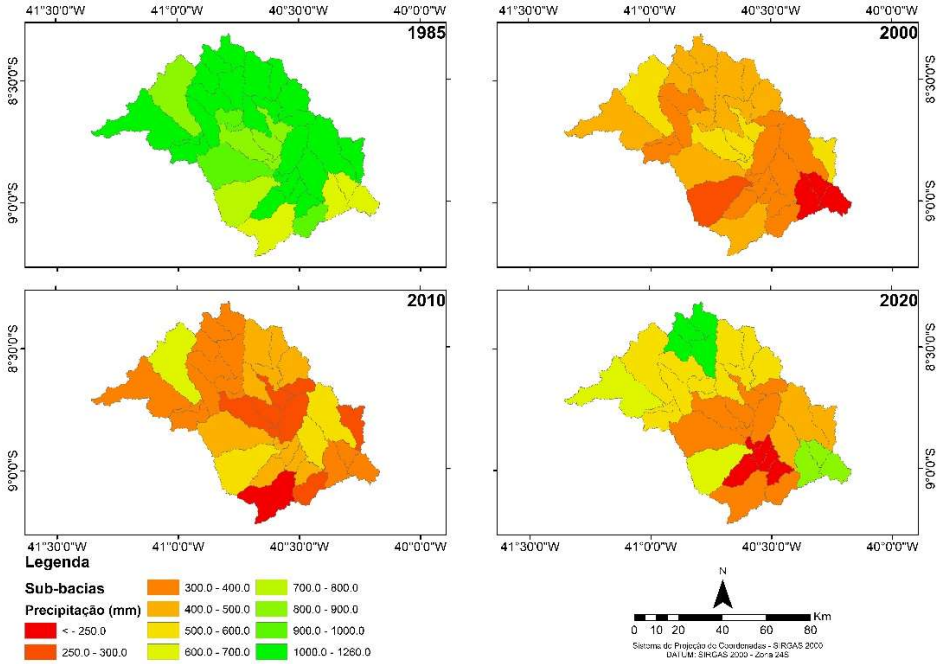
# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 Dinâmicas do Uso e Ocupação do solo na Bacia Riacho do Pontal (1985 – 2020)

As características edafoclimáticas da Bacia do Pontal a incluem em um clima semiárido (CODEVASF, 2007). No geral, a área alcança o quantitativo de 6126 Km² e precipitação média de 557,7 mm (LOPES et al., 2017), com período seco predominando de 6 a 8 meses no ano (CODEVASF, 2007).

A figura 10 apresenta a dinâmica de precipitação para os anos de 1985, 2000, 2010 e 2020 na bacia. Analisando a figura 10, observa-se que a bacia do Pontal tem uma dinâmica de precipitação espacialmente heterogênea, de 236,3 mm a 900mm, onde, nos anos observados, verifica-se que a porção norte da bacia recebe valores de precipitação superiores aos demais e o centro da bacia mantém quantitativos de precipitação inferiores. Miranda et al. (2018) e Assis et al. (2015) explicaram que a baixa pluviosidade dessa região em específico (centróide – sudoeste) pode ser respondida pelo deslocamento de frentes frias da Antártica para a região Nordeste do Brasil, tendo um direcionamento mais específico para o sul baiano, alcançando também porções pernambucanas.

Figura 10 – Dinâmica de precipitação (média) da Bacia do Pontal-PE

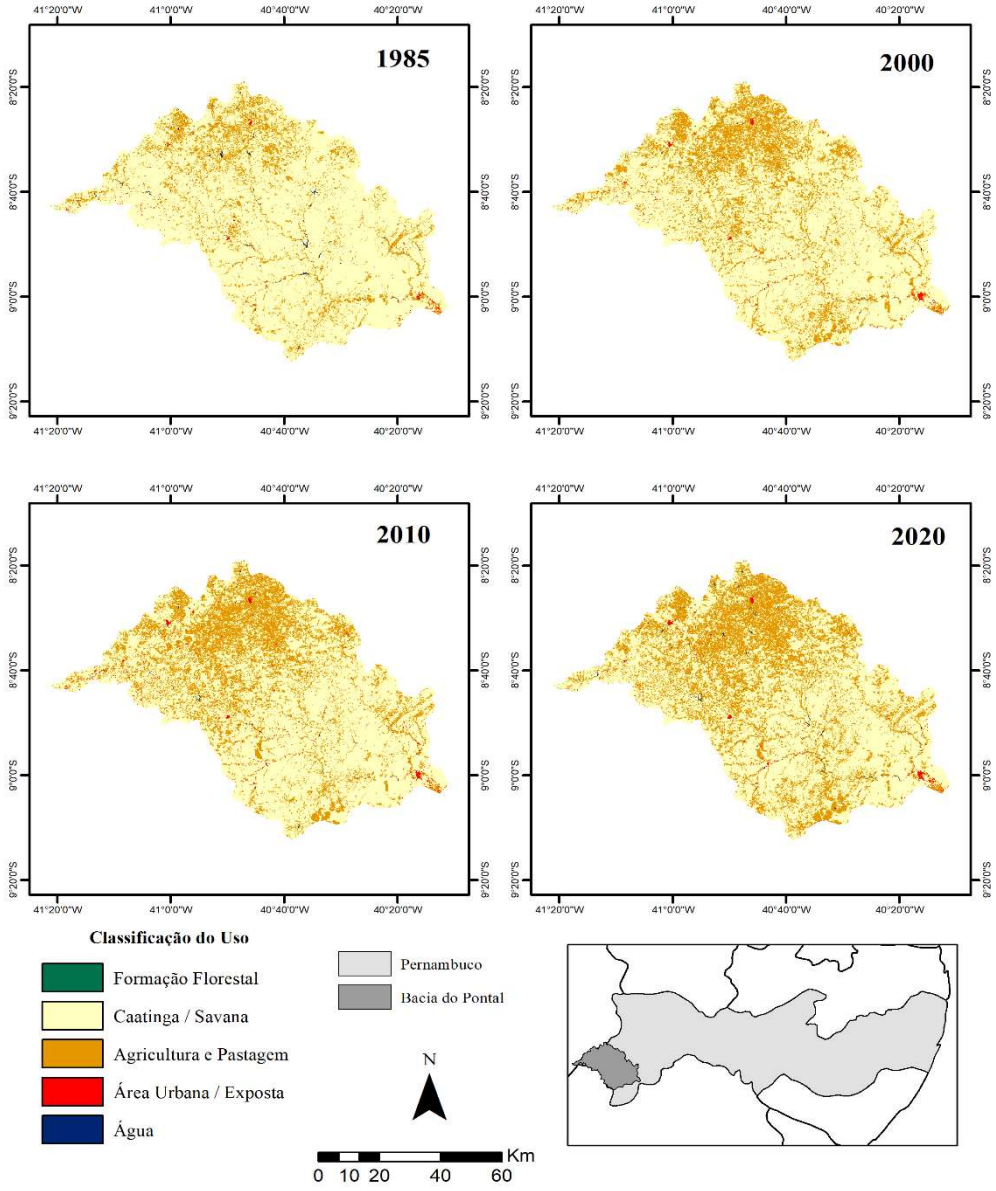



Fonte: autor (2020)

Ademais, Miranda *et al.* (2018) apontaram que aspectos altimétricos, geológicos e geomorfológicos da região norte da bacia do pontal, combinados com os de precipitação, favorecem as transformações do espaço da caatinga/semiárido em territórios agricultáveis e/ou de pastagem. Outros pontos, como a expansão de áreas de agricultura irrigada em momento

posterior também foram favoráveis à transformação da caatinga em agricultura em outras zonas na mesma bacia. A figura 11 e a tabela 3 retratam as classificações e quantitativos quanto ao uso e ocupação do solo de 1985, 2000, 2010 e 2020 para a região em questão.

Figura 11 – Uso e Ocupação do solo na Bacia do Pontal (1985, 2000, 2010, 2020)




Fonte: autor (2022)

Tabela 3 – Quantitativo das classes do Uso e Ocupação do solo na Bacia do Pontal-PE (1985, 2000, 2010, 2020)

| Classes - 1985 | Valor % | Km² |
|---|---|---|
| Fragmentos Florestais | 0,05 | 3,06 |
| Caatinga / Savana | 85,86 | 5259,7 |
| Agricultura e Pastagem | 13,39 | 820,27 |
| Área Urbana / exposto | 0,43 | 26,34 |
| Água | 0,27 | 16,54 |
| Área total | 100 | 6126 |

| Classes - 2000 | Valor % | Km² |
|---|---|---|
| Fragmentos Florestais | 0,03 | 1,84 |
| Caatinga / Savana | 76,63 | 4694,3 |
| Agricultura e Pastagem | 22,72 | 1391,8 |
| Área Urbana / exposto | 0,54 | 33,08 |
| Água | 0,08 | 4,9 |
| Área total | 100 | 6126 |

| Classes - 2010 | Valor % | Km² |
|---|---|---|
| Fragmentos Florestais | 0,04 | 2,45 |
| Caatinga / Savana | 72,37 | 4433,3 |
| Agricultura e Pastagem | 26,71 | 1636,2 |
| Área Urbana / exposto | 0,76 | 46,56 |
| Água | 0,12 | 7,35 |
| Área total | 100 | 6126 |

| Classes - 2020 | Valor % | Km² |
|---|---|---|
| Floresta | 0,14 | 8,58 |
| Caatinga | 67,7 | 4147,3 |
| Agricultura e Pastagem | 31,42 | 1924,7 |
| Área Urbana / exposto | 0,49 | 30,02 |
| Água | 0,26 | 15,93 |
| Área total | 100 | 6126 |

Fonte: autor (2022)

Observando a figura 11 e a tabela 3, nota-se que predominantemente a bacia do pontal em 1985 mantinha a Caatinga como principal classe ~85%, seguida de zonas de agricultura e pastagens, sobretudo ao norte territorial (13%). No estudo da CODEVASF (2000) para uma região da Bacia do São Francisco foi observado que a predominância das áreas era oriunda da classificação do bioma Caatinga com baixas parcelas de agricultura irrigada (LOPES et al., 2019). Camelo Filho (2011) aponta que os projetos de agricultura irrigada e incentivo a agriculturas convencionais na região do submédio São Francisco, abrangendo os Estados de Pernambuco e da Bahia só foram tratadas com maiores potencialidades a partir de meados da década de 1990.

Observa-se na figura 11, para o ano 2000, que após a passagem de 15 anos no território da bacia do Pontal houve um aumento da área de Agricultura e Pastagem ~23% frente às zonas de Caatinga ~76,6%, no qual é possível notar que além da expansão das áreas ao norte da bacia já existentes em 1985, clusters na parte sul emergem oriundos dos perímetros irrigados impulsionados pelos programas de incentivo à agricultura (CAMELO FILHO, 2011)

Indo de encontro com a classificação executada neste estudo, a pesquisa de Lopes et al. (2019) classificando de forma híbrida (não supervisionada e supervisionada) a mesma região alcançou valores próximos a 80% de Caatinga. Contudo, as classificações implementadas pelos autores supracitados seccionaram a Caatinga em dois estados, solo descoberto e agricultura irrigada em específico, computando para agricultura irrigada 3,54% da área para o Pontal e solo descoberto em aproximadamente 13%. Sabe-se que uma das práticas da agricultura de subsistência é a liberação de animais em áreas abertas (BARCELLOS et al., 2019; FAO, 2003)

favorecendo a degradação ambiental, a transformação territorial e a preparação de possíveis áreas para a agricultura.

Em 2010 as áreas de Agricultura e Pastagem duplicaram de valor (26,71%) quando comparadas a 1985, acarretando uma redução próxima de 5,5% de área da Caatinga (72,71%). Miranda et al. (2018) observaram em período posterior a 2007 aumento e mudanças de degradação para a região, sobretudo ao sul da bacia. Ressalta-se que a possível disponibilidade de água e condições de declives favoráveis à agricultura impulsionou a transformação e a consequente substituição da Caatinga por ambientes de pastagem ou de agricultura convencional (MADSON et al., 2012).

Em 2020 as áreas de Agricultura e Pastagem atingiram cerca de um terço 1/3% da bacia do Pontal (31,42%), ocupando grandes proporções na zona norte, noroeste e sul. A Caatinga mantém (67,7%) e está mais localizada ao centro, indo de encontro com as áreas que mantêm os menores índices de precipitação média. Madson et al. (2012) observaram a existência de áreas de Caatingas abertas e Caatingas abertas degradadas na porção sul do Pontal, ambiente que favorece a entrada antrópica e a utilização desse território fragilizado para fins comerciais.

Lopes et al. (2019), em estudo realizado na mesma área, constataram que as principais mudanças de solo ao longo dos anos estão relacionadas à agricultura irrigada, aumento de áreas expostas, ambientes urbanos e redução de ambientes hídricos. Miranda et al. (2018) observaram a existência de um padrão de precipitação correlacionando-se com as dinâmicas do bioma Caatinga na região, onde existe a possibilidade dessa diferença abarcar até 298 mm de precipitação (segundo os autores, *112% mais intenso no norte da bacia do que no Sul*) auxiliando em uma melhor compreensão das áreas do norte estarem sendo transformadas em ambientes agricultáveis, uma vez que quantitativos de precipitação superiores à média da região melhoram a qualidade da terra para a lavoura de sequeiro e de cultivos adaptáveis.

No geral, observa-se ao longo do período 1985 – 2020 uma mudança das áreas de Caatinga na bacia do Pontal para regiões de pastagem e agricultura, sejam elas nas condições de sequeiro, subsistência, convencional ou irrigada. A região norte da bacia foi a mais transformada espacialmente quando comparada a outros territórios, enquanto a região centro-centróide foi a menos modificada. Semelhanças verificadas nas pesquisas de Madson et al. (2012), Miranda et al. (2018) e Lopes et al. (2019) para a mesma região em estudo concomitam com resultados dessa pesquisa e a somam, uma vez que se verifica nestas as composições e respostas sobre as dinâmicas de clima, declividades, solos e suas fragilidades generalizadas.

## 4.2 Análise da estrutura fundiária nos municípios da bacia do Pontal-PE

Reflexionar sobre a estrutura fundiária no Nordeste brasileiro requer um esforço para analisar os processos de mudança relacionados à propriedade e ao uso da terra, como concessão, acesso e disponibilidade de recursos, exploração, abandono e desocupação. Não se pretende analisar neste estudo os processos seculares de ocupação que contribuíram para a formulação de uma chave de explicação que tem como pressuposto a ocupação da terra no interior do Nordeste ou no Sertão, como resultante de uma trajetória hegemônica de cessão de títulos ou através de sesmaria.

Assim, buscou-se apenas analisar os níveis de concentração fundiária de terras e seu perfil em cada um dos municípios (Afrânio, Dormentes, Lagoa Grande e Petrolina) da bacia do Riacho do Pontal-PE.

Segundo o Sistema Nacional de Cadastro Rural do INCRA (2018), o módulo fiscal dos municípios da bacia representa 55 hectares, nesse sentido, 1 módulo equivale a 55 hectares. Assim, têm-se: minifúndios de 1 até 10 hectares, pequena propriedade de 10 a 50 hectares, média propriedade de 50 a 250 hectares e grande propriedade acima de 250 hectares (Tabela 4).

Tabela 4 - Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Afrânio-PE

| NOME CATEGORIA (Hectares) | QUANTIDADE (Imóveis) | TOTAL ÁREA (ha) |
|---|---|---|
| 1 a menos de 2 | 7 | 9,5904 |
| 2 a menos de 5 | 316 | 1.109,4457 |
| 5 a menos de 10 | 656 | 4.593,3587 |
| 10 a menos de 25 | 1.428 | 22.450,7828 |
| 25 a menos de 50 | 1.014 | 33.826,3328 |
| 50 a menos de 100 | 495 | 32.048,2270 |
| 100 a menos de 250 | 163 | 22.577,9086 |
| 250 a menos de 500 | 22 | 7.716,0647 |
| 500 a menos de 1000 | 13 | 8.059,9427 |
| Imóveis Inconsistentes Excluídos | 112 | 0,0000 |
| T O T A L | 4.226 | 132.391,6534 |

Fonte: Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNRC/INCRA (2018)

Em relação aos números da estrutura fundiária em Afrânio (Tabela 4), destaca-se o tamanho de área de 10 a 25 hectares (pequena propriedade) que participa com (1.428) unidades. Já em relação à área total, destacam-se os tamanhos de área de: '25 a 50 hectares' (pequena propriedade) com um total de área de (33.826,3328 ha), caracterizando a estrutura fundiária para o município de Afrânio com o perfil de pequena propriedade em sua maioria. O município tem a menor área total cadastrada dentro da bacia, com 132.391,6534 há (Tabela 5).

Tabela 5 - Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Dormentes - PE

| NOME CATEGORIA (Hectares) | QUANTIDADE (Imóveis) | TOTAL ÁREA (ha) |
|---|---|---|
| 1 a menos de 2 | 5 | 7,4208 |
| 2 a menos de 5 | 416 | 1.405,1108 |
| 5 a menos de 10 | 751 | 5.410,5907 |
| 10 a menos de 25 | 1.981 | 32.088,7915 |
| 25 a menos de 50 | 1.238 | 42.305,5269 |
| 50 a menos de 100 | 594 | 38.270,3055 |
| 100 a menos de 250 | 181 | 23.880,8792 |
| 250 a menos de 500 | 15 | 5.108,2431 |
| 500 a menos de 1000 | 5 | 3.452,7772 |
| 2.000 a menos de 2.500 | 1 | 2.280,8204 |
| Imóveis Inconsistentes Excluídos | 54 | 0,0000 |
| T O T A L | 5.241 | 154.210,4741 |

Fonte: Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNRC/INCRA (2018)

Os números para a estrutura fundiária no município de Dormentes mostram que o perfil com maior quantidade é de 10 a 25 hectares pequena propriedade, seguida de 25 a menos de 50, apontando que o perfil fundiário encontrado no território é da (pequena propriedade). De acordo com Santos *et. al.* (2020), a região Nordeste apresenta também uma grande concentração de terras nas mãos dos poucos grandes proprietários, contrapondo com a maioria da população que vive em pequenas propriedades.

De modo geral, o desenvolvimento da agricultura se realiza, em grande parte, através da transformação dos processos da pequena propriedade familiar (MELO; BRAZ, 2018). Em

contraponto, temos poucas propriedades com o perfil fundiário de grande propriedade na região, que são aqueles com 250 hectares acima, que ao todo tem na amostra 21 grandes propriedades na contagem do perfil geral.

A classificação de imóveis rurais, em relação ao tamanho da área, é uma variável a ser considerada na identificação da dinâmica fundiária. Sobre estrutura fundiária, esta corresponde à maneira como estão distribuídas as terras no território, podendo ser concentradas grande parcela das terras em posse de poucos proprietários (FAGUNDES; BORGES, 2016). Em contrapartida, o município apresenta apenas cinco propriedades de 1 a menos de 2 hectares, cobrindo uma pequena área de 7,4208 ha no território.

O município de Lagoa Grande tem o menor percentual de estabelecimentos agrícolas cadastrados no SNRC na bacia do Pontal, com apenas 1.679 cadastros (Tabela 6). É o segundo maior município da bacia, recebendo influência direta do município de Petrolina na dinâmica econômica e agrícola. O perfil fundiário com a maior quantidade é de 10 a 25 hectares (pequena propriedade), que vem seguido com o perfil de 25 a menos de 50, mostrando que o segundo perfil fundiário encontrado no território ainda é da pequena propriedade em sua maioria.

Tabela 6 - Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Lagoa Grande-PE

| NOME CATEGORIA (Hectares) | QUANTIDADE (Imóveis) | TOTAL ÁREA (ha) |
|---|---|---|
| Mais de 0 a menos de 1 | 1 | 0,4774 |
| 1 a menos de 2 | 4 | 5,3854 |
| 2 a menos de 5 | 214 | 657,0386 |
| 5 a menos de 10 | 156 | 1.056,2121 |
| 10 a menos de 25 | 393 | 6.608,6256 |
| 25 a menos de 50 | 335 | 11.638,8217 |
| 50 a menos de 100 | 291 | 20.644,9868 |
| 100 a menos de 250 | 191 | 29.449,5623 |
| 250 a menos de 500 | 56 | 19.186,5839 |
| 500 a menos de 1000 | 16 | 10.947,6272 |
| 1.000 a menos de 2.000 | 10 | 13.550,3724 |
| 2.000 a menos de 2.500 | 2 | 4.590,1801 |

| | | |
|---|---|---|
| 2.500 a menos de 5.000 | 1 | 4.685,2785 |
| 10,000 a menos de 20.000 | 1 | 14.383,0104 |
| Imóveis Inconsistentes Excluídos | 8 | 0,0000 |
| T O T A L | 1.679 | 137.404,1624 |

Fonte: Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNRC/INCRA (2018)

É importante destacar que desde o ano de 1985 que se vem registrando o maior valor de desconcentração da posse da terra para a Região Nordeste, havendo, a partir desta data, uma diminuição no valor do indicador nos anos de 1996 e 2006, significando um tímido processo de desconcentração da posse da terra na região (MEDEIROS, 2016). O tamanho das propriedades tende a diminuir de maneira mais acentuada para as pequenas propriedades, sem falar na política nacional de crédito fundiário que possibilitou aos pequenos agricultores e às associações de agricultores a compra de terras (MAIA; GOMES, 2020).

O município de Petrolina tem o maior território entre os municípios da bacia com cadastro registrados no SNRC (Tabela 7) e em termos econômicos tem a fruticultura irrigada e a exportação como seu maior expoente. No Semiárido brasileiro, a fruticultura e as atividades ligadas à mesma contribuem para o desenvolvimento local. Nesse contexto, se insere o polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA, região considerada em nível nacional como importante polo fruticultor sobre base de investimentos em projetos de irrigação pública (LIMA *et al.*, 2021).

Tabela 7 - Estabelecimentos agrícolas e área total por estrato do município de Petrolina-PE

| NOME CATEGORIA (Hectares) | QUANTIDADE (Imóveis) | TOTAL ÁREA (ha) |
|---|---|---|
| Mais de 0 a menos de 1 | 83 | 45.1317 |
| 1 a menos de 2 | 136 | 185.5919 |
| 2 a menos de 5 | 1.902 | 6.270,0163 |
| 5 a menos de 10 | 3.199 | 21.887,1557 |
| 10 a menos de 25 | 3.279 | 52.653,5324 |
| 25 a menos de 50 | 2.334 | 81.943,3441 |
| 50 a menos de 100 | 1.373 | 91.731,3857 |
| 100 a menos de 250 | 719 | 101.042,6983 |
| 250 a menos de 500 | 124 | 42.164,6831 |

| | | |
|---|---|---|
| 500 a menos de 1000 | 37 | 25.135,1175 |
| 1.000 a menos de 2.000 | 19 | 24.503,3702 |
| 2.000 a menos de 2.500 | 6 | 13.951,1669 |
| 2.500 a menos de 5.000 | 5 | 18.861,9312 |
| 5.000 a menos de 10.000 | 1 | 5.798,2104 |
| 10,000 a menos de 20.000 | 2 | 31.868,2104 |
| Imóveis Inconsistentes Excluídos | 362 | 0,0000 |
| T O T A L | 13.581 | 518.041,5458 |

Fonte: Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNRC/INCRA (2018)

De acordo com a CODEVASF (2019,) em 2019 a região possuía aproximadamente 54 mil hectares irrigados, com capacidade de ampliar para 200 mil hectares. Entre 2000 e 2019, as exportações de frutas evoluíram 363,6% – de US$ 56,7 milhões para US$ 263,1 milhões, dando um salto no superávit da balança comercial de 350,9% – passando de US$ 51,9 milhões para US$ 233,8 milhões (SOBEL; XAVIER, 2019; CODEVASF, 2019).

O polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA movimenta todos os municípios do território da bacia, gerando emprego e renda para a população, e estes recursos humanos, em sua maioria são dos municípios mais próximos como Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande. O município de Petrolina tem o maior número de estabelecimentos agrícolas (13.581) e área total de 518.041,5458 há (INCRA, 2018).

O perfil fundiário com a maior quantidade no território de Petrolina é de 10 a 25 hectares (pequena propriedade), com 3.279 unidades, seguida da categoria de 5 a menos de 10, com (3.199), e em terceiro o perfil de 25 a menos de 50 (2.334), demonstrando que o perfil fundiário do município de Petrolina é o da pequena propriedade. Registra-se que o município apresenta o maior número de imóveis inconsistentes excluídos (362). O município também registra em seu território o maior número de grandes e super latifúndios, muito pelo fato de ter o maior número de perímetros irrigados e o Rio São Francisco percorrer o município, atraindo assim muitas unidades agrícolas para a sua área. No Semiárido brasileiro, a fruticultura e as atividades ligadas à mesma contribuem para o desenvolvimento local.

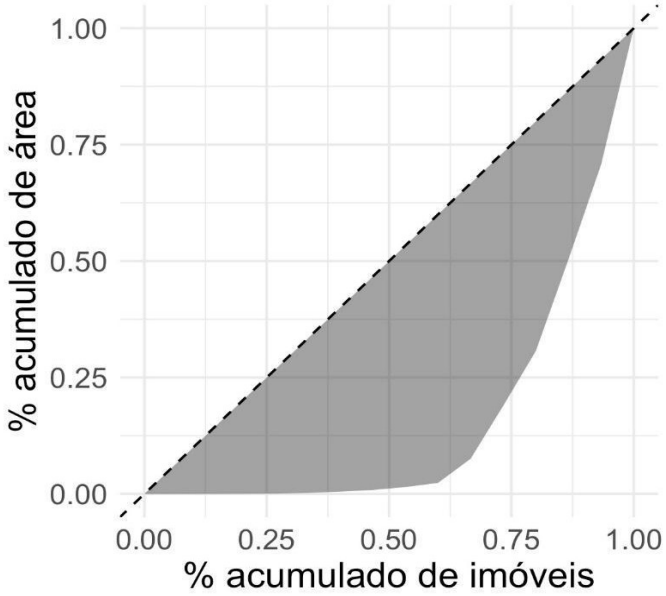
Em números gerais, em relação à estrutura fundiária dos municípios no território da Bacia do Pontal-PE temos 24.727 imóveis cadastrados no SNCR em uma área total de 942.047,834 ha com os dados referentes ao último levantamento publicado do SNRC de 2018.

O perfil fundiário, de acordo com os dados do SNRC para os quatro municípios que compõem a Bacia do Pontal-PE, é caracterizado em pequena propriedade no perfil de 10 a 25 hectare, com 7.081 imóveis, perdendo apenas em área total. O perfil que apresenta a maior área total é de 25 a menos de 50 que fica dentro do perfil de pequena propriedade. Apesar das pequenas propriedades rurais no Nordeste brasileiro estarem avançando, as maiores extensões de terras, estão de posse, de um pequeno número de proprietários rurais, e as menores extensões de terras, estão de posse, de um amplo número de proprietários rurais na região (FAGUNDES; BORGES, 2016).

Em relação ao grande latifúndio na bacia, o território apresenta apenas três propriedades com perfil de 10.000 a menos de 20.000 que somam juntas uma área total de 46.251,220 ha. A região Nordeste apresenta uma grande concentração de terras nas mãos dos poucos grandes proprietários, contrapondo com a maioria da população que vive em pequenas propriedades (SANTOS *et al*., 2020).

Calculou-se o tamanho médio, a mediana e a moda dos estabelecimentos, vistos nas tabelas referentes à estrutura fundiária, além de se traçar o índice de Gini e gerar Curva de Lorenz figura 12, com os dados de 2018 do SNCR.

Figura 12 - Curva de Lorenz para a distribuição de imóveis nos quatro municípios que compõem a bacia do Pontal-PE




Fonte: o autor (2022)

Com o intuito de analisar a concentração da posse da terra nos quatro municípios que fazem parte do território da bacia do Pontal-PE. Foi analisado o índice de Gini, onde é encontrado o valor da moda de 0,688%, significando uma concentração de terra de média a forte no período considerado. Para tal cálculo, foram utilizados o percentual de área total e o

número de imóveis divididos em 15 estratos medidos em hectares de acordo com os dados divulgados do SNRC (2018). A concentração moderada na bacia indica que há desigualdades na frequência de distribuição de hectares por propriedades.

Examinando o índice de Gini, mostrados na figura 12 e nas tabelas: 4, 5, 6 e 7 da estrutura fundiária, pode-se verificar que a Estrutura Fundiária da bacia se caracteriza por uma incontestável rigidez no seu perfil concentracionista de hectares, mesmo havendo maior número de pequenas propriedades como perfil maior na bacia, existe uma concentração grande de hectares na mão de grandes latifundiários, apontando para o município de Petrolina como maior concentrador de hectares e de imóveis em todos os estratos.

Souza (2000) e Tenório Lima (2021) consideram que a maior parte dos estados brasileiros que obtiveram tendência de concentração ao longo dos anos (1970 a 2021) passou por um processo de modernização agrícola mais intensivo. De acordo com Nunes de Castro e Pereira (2021), é grande a mecanização e modernização agrícola no polo Petrolina-Juazeiro, principalmente para o uso de insumos agrícolas, como adubação, defensivos, irrigação e mecanização (tratores). Uma característica apontada com o perfil fundiário da bacia, foi que quanto mais se aproxima da jusante e do exutório da bacia que fica no território do município de Petrolina e indiretamente influência Lagoa Grande, se tem predominância e aumento de grandes e super latifúndios, já a montante da bacia em Afrânio e Dormentes a característica é do pequeno latifúndio.

É necessário ressaltar que, quando se fala em rigidez da estrutura fundiária do ponto de vista da concentração não significa que não possa ter havido alterações em estratos específicos dos estabelecimentos para a região Nordeste (MEDEIROS, 2016). Ainda ressalta Medeiros (2016), que a nível macro, aferido pelo índice de Gini em trabalhos dos últimos anos sobre a estrutura fundiária no Nordeste (SILVA; ALVES, 2016; VASCONCELOS FILHO, 2017; LEITE, 2018; DIAS, 2019; SANTOS *et al*., 2020; AMANTINO; CARDOSO, 2021), a concentração permaneceu muito elevada e praticamente inalterada.

O que se pode inferir, tomando-se por base essas informações é que do ponto de vista da posse da terra, o Nordeste continua com o mesmo perfil concentrador do passado. Assim, diante dos valores exibidos nas tabelas do SNCR e da curva de Lorenz, conclui-se que em todos os municípios do território da bacia do Pontal-PE predominam vastas extensões de terra nas mãos de poucos proprietários, mesmo o número de imóveis pequenos sendo maior.

### 4.2.1 A configuração agrícola na Bacia do Pontal-PE

O Brasil, a cada ano, tem alcançado altos índices na produção de frutas, ocupando o terceiro lugar no ranking mundial como maior produtor frutícola (CNA, 2017). Na região Nordeste do Brasil, a fruticultura e as atividades ligadas à mesma contribuem para o desenvolvimento regional. Em relação a esse território, destaca-se a produção na Bacia do Pontal-PE com culturas permanentes frutíferas: banana, manga, coco, goiaba e uva, como suas principais espécies (CODEVASF, 2013; SILVA, 2014).

Em relação às principais formas de uso da terra para o plantio das culturas permanentes, tem-se, na bacia, a maior parte das terras destinadas à lavoura de manga e uva, com representação de 15.290 ha da área total, (Tabela 8). Todavia, nos últimos 10 anos a produção de uva e manga no polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA ocuparam grande espaço no mercado interno e externo com a exportação para vários países (LIMA *et al.*, 2021). A região se destaca como maior produtor de manga e uva do país, cuja produção é destinada para o mercado interno e externo (EMBRAPA, 2019).

Tabela 8 - Cultivos temporários e permanentes por hectare nos municípios da bacia do Pontal-PE

| Lavoura | **Afrânio** | **Dormentes** | **Lagoa Grande** | **Petrolina** |
|---|---|---|---|---|
| **ha** | Área plantada | Área plantada | Área plantada | Área plantada |
| | **Permanente** | | | |
| Banana | - | - | 145 | 1.820 |
| Coco-da-baía | - | - | - | 1.800 |
| Goiaba | - | - | 100 | 2.100 |
| Manga | - | - | 440 | 9.000 |
| Maracujá | - | - | 20 | 170 |
| Uva | - | - | 1.550 | 6.290 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Total** | | | **2.255** | **21.180** |
| | | **Temporária** | | |
| Cana de açúcar | - | 11 | - | 125 |
| Cebola | - | - | 65 | 75 |
| Feijão | 3,2 | 3.600 | 1.500 | 3.270 |
| Mandioca | - | - | 70 | 250 |
| Milho | 4,5 | 4.500 | 1.000 | 4.900 |
| Melancia | - | - | 370 | - |
| Melão | - | - | 270 | - |
| Tomate | - | - | 160 | - |
| **Total** | **7,7** | **8.111** | **3.435** | **8.620** |

Fonte: elaborado com base no Produção Agrícola Municipal - PAM (2020) IBGE CIDADES (2020)

Em relação às culturas temporárias, destaca-se o feijão e milho (Tabela 8). A agricultura temporária na Bacia do Pontal-PE está ligada à agricultura de sequeiro. No Nordeste brasileiro a forma de agricultura predominante é de subsistência, praticada em pequenas propriedades rurais nas condições de sequeiros, em que a produtividade agrícola depende da distribuição das chuvas e da fertilidade natural dos solos. Nessas condições, os solos se apresentam erodidos, pobres em nutrientes e com níveis baixos de matéria orgânica. A expressão sequeiro deriva da palavra seco, e seu plantio em grande parte em regiões subdesenvolvidas é de forma extensiva (DINIZ, 2012).

A Agricultura irrigada é, que vem gerando empregos no campo, principalmente para a população dos municípios da bacia e com alta tecnologia para irrigação. Do outro lado se tem a agricultura de sequeiro, que apresenta baixa produtividade, pouca tecnologia, gerando algum excedente nos anos com chuva, mas sem garantir sustentabilidade para as famílias, que migram da área rural para as cidades do Semiárido com áreas irrigadas (ALVES; SOUZA, 2015).

Inicialmente, os lotes irrigados eram destinados à população de baixa renda da área de sequeiro e das microrregiões circunvizinhas, incluindo os imigrantes dos Estados do Piauí, Ceará e Maranhão. Desta forma, tinha a função de sanar também problemas fundiários. Não obstante, em razão da necessidade de alto investimento financeiro e assistência técnica na produção de novas culturas, houve a entrada de médias e grandes empresas (BARROS, 2007).

Com efeito, a região que antes desenvolvia agricultura de sequeiro vem se destacando a cada ano, em nível nacional, como importante polo fruticultor, sobre base de investimentos em irrigação pública e incentivos à exportação, fatores que corroboraram, sobretudo, para mudanças na estrutura econômica local e reorganização territorial (BUSTAMANTE, 2009).

Neste contexto, entender as relações da produção entre os grandes grupos empresariais, cooperativas de produtores, médios empresários, pequenos empresários, e ainda pequenos produtores, miniprodutores, e assentamentos da reforma agrária e agricultores familiares é importante para avaliar o estágio em que se encontra o processo produtivo e as possibilidades de gerar crescimento econômico com inclusão social, porque, segundo Moraes (2016), estudos recentes denunciam o caráter excludente do modelo de desenvolvimento aplicado na região, na medida em que se tornou incapaz de incluir, na complexa engrenagem produtiva, as populações locais menos abastadas.

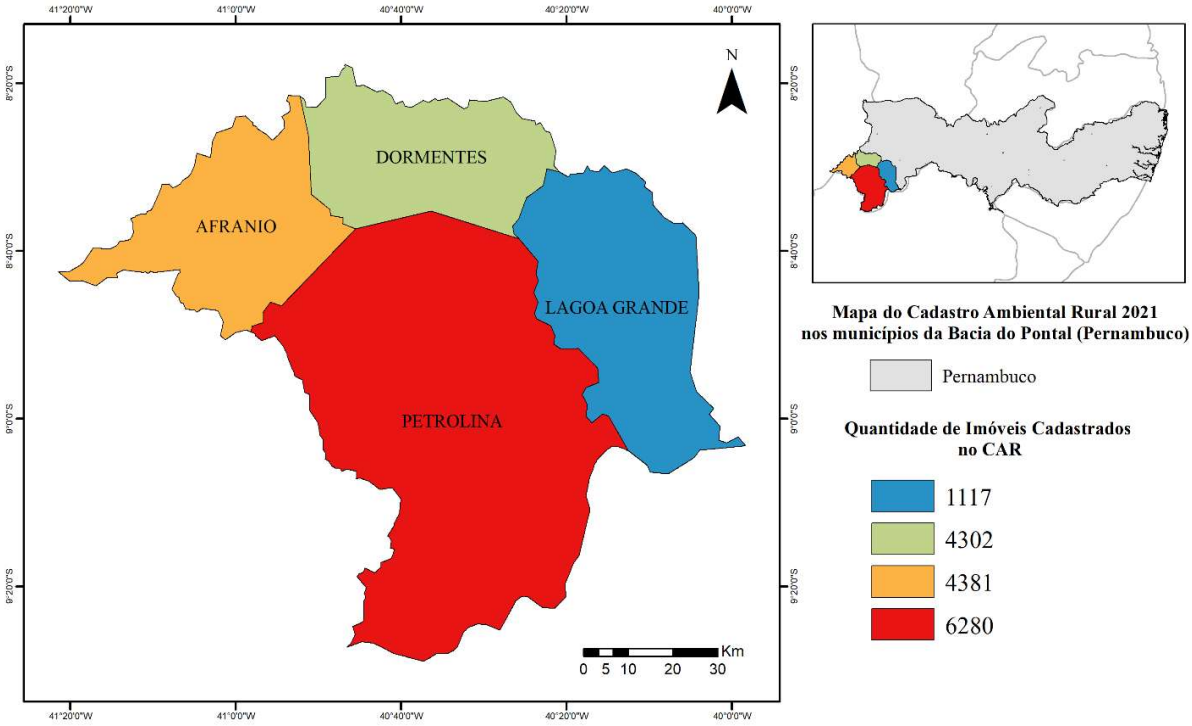
Dessa forma, as relações entre os agentes econômicos são fundamentais para que ocorram mudanças no formato da produção. Para tanto, as famílias do semiárido precisam que o Estado, que conduz as políticas públicas e programas setoriais, assumam o papel de formador de técnicos, preparados para conduzir o processo de produção, possibilitando a interação dos agentes com as reais condições de integrar os setores e fatores de produção, situação favorável para o território da Bacia do Pontal-PE.

### 4.2.2 O Cadastro Ambiental Rural (CAR) e seus números na Bacia do Pontal-PE

É oportuno mencionar que o CAR é uma base de dados essencial no âmbito do planejamento de políticas públicas, investigação das mudanças sociais, principalmente no contexto da estrutura fundiária rural (SILVA, 2015).

Nesse sentido, pontua-se que a Bacia do Pontal-PE possui 16.080 imóveis cadastrados no CAR (CAR, 2021). A Figura 13 mostra a distribuição de tais números pelos municípios da Bacia do Pontal-PE. Apontando que o Município de Petrolina tem o maior número de propriedades inscritas no CAR (6.280), seguido do município de Afrânio (4.381), Dormentes (4.302) e por último o município de Lagoa Grande, com 1.117 cadastrados.

Figura 13 – Números de imóveis cadastrados no CAR nos municípios da Bacia do Pontal-PE




Fonte: SICAR (2021)

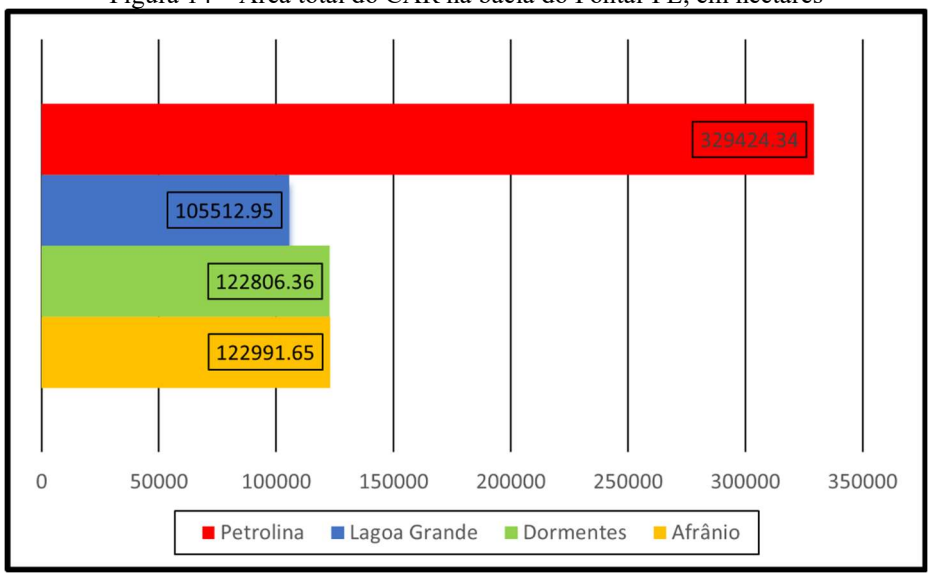
De acordo com a CODEVASF (2016), o CAR é considerado instrumento fundamental para auxiliar no processo de regularização e gestão ambiental de propriedades e posses rurais. A Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), por meio da 3ª Superintendência Regional em Petrolina (PE), concluiu o Cadastro Ambiental Rural (CAR) dos perímetros públicos de irrigação sob sua jurisdição em Pernambuco.

Da análise da Figura 14 pode-se inferir que o município de Petrolina tem maior número de CAR, pelo fato de ser um grande polo exportador da fruticultura mundial, e uma das hipóteses é que a certificação das propriedades com o CAR é vantajosa para os negócios de exportação. A transparência pública e a imagem são importantes para a sociedade aumentar a confiança no poder público, principalmente as questões ligadas ao controle ambiental. As informações associadas à disponibilização de informações sobre conservação em terras privadas, no contexto CAR, é uma ótima ferramenta de transparência pública, onde existe o agronegócio, trazendo credibilidade aos entes privados com o mercado (VERDASCA; RANIERI, 2021).

No que tange ao valor de produção, os dados do Censo Agropecuário indicam que a produção da fruticultura em Petrolina gerou receita de 106,5 bilhões de reais (ROSA NETO; SILVA; ARAÚJO, 2020). Os autores acrescentam que a participação desta atividade tem importância significativa na maioria dos produtos hortícolas e alimentícios em geral, e no vale

do São Francisco são mais de 30 mil hectares irrigados. São 700 quilômetros de tubos, mais de 156 quilômetros de canais e cerca de 2600 produtores (IPEA, 2020).

Figura 14 – Área total do CAR na bacia do Pontal-PE, em hectares




Fonte: SICAR (2021)

Nesse sentido, a adoção do CAR pode refletir nas questões de mercado e importação, trazendo uma boa imagem e transparência para os negócios da fruticultura e a conservação do meio ambiente na região da Bacia do Pontal-PE. Contudo, o CAR no município de Lagoa Grande é considerado baixo mesmo para o Estado de Pernambuco, e esses índices menores seguem a média de muitos municípios da região Nordeste.

Analisando os dados por regiões no Brasil, nota-se que as regiões Norte e Sudeste possuem 100% das áreas cadastradas no CAR e o Nordeste possui a menor porcentagem. Nesta região o Estado do Maranhão possui a maior quantidade de hectares cadastrados (20.873.303) e o menor, Alagoas (1.006.380), o maior número de imóveis cadastrados foi identificado no Estado de Pernambuco (198.988) e o menor em Sergipe (41.795) (MACIEL; MACIEL, 2021).

### 4.2.3 Modelagem hidrológica da água de 1961 a 2021 na Bacia do Pontal-PE

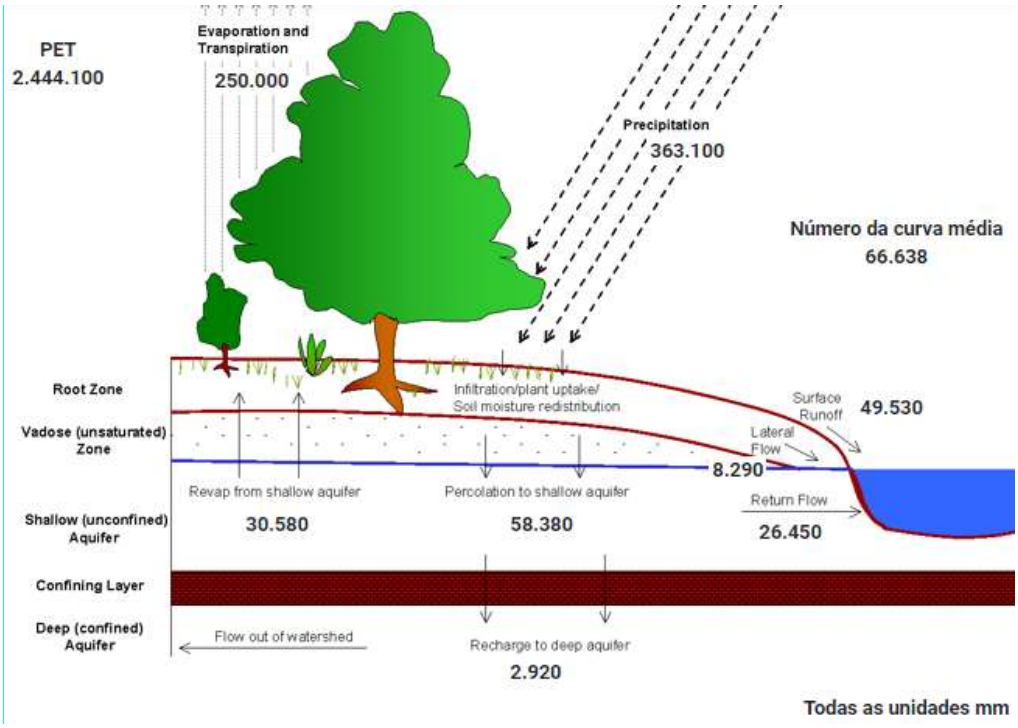
O balanço hídrico médio anual da bacia do Pontal de forma geral apresenta as seguintes razões: 32,96% da precipitação é perdida por evapotranspiração. Apenas 19,71% do fluxo total da bacia é superficial, 7,70% da precipitação é percolada. A precipitação média anual é de 363mm, evapotranspiração potencial de 244mm, evapotranspiração real de 250mm. As análises de Miranda (2017) do balanço hídrico na bacia do pontal-PE, com dados de 2011 a 2016, indicaram que 85,03% da água da chuva é evapotranspirada contra 2,45% para escoamento superficial, 3,58% para percolação e 0.41% para fluxo de retorno. O balanço hídrico na

Caatinga apresenta escoamento superficial apenas quando os valores de precipitação ultrapassaram os 63 mm acumulados com uma máxima de 20 mm (MIRANDA, 2017).

As variabilidades temporais e espaciais das precipitações pluviométricas constituem uma característica marcante do clima da região Nordeste do Brasil, em particular sobre a porção semiárida, onde há irregularidade temporal e espacial das chuvas (MARENGO *et al.,* 2011).

A bacia hidrográfica do riacho do Pontal tem um baixo fluxo de retorno de 26mm. Nesse sentido, a precipitação percolada retorna à superfície através de poços artesianos ou cacimbões e/ou na superfície e nos vales (Figura 15). A aridez e a distribuição irregular da precipitação pluviométrica no tempo e espaço do semiárido, ocasionaram nas construções de poços artesianos e cacimbas para armazenar as águas superficiais para uso doméstico e animal (SOUZA et., al 2016; LUZ; GALVINCIO, 2021).

Figura 15 - Ciclo hidrológico médio anual da bacia do riacho do Pontal-PE

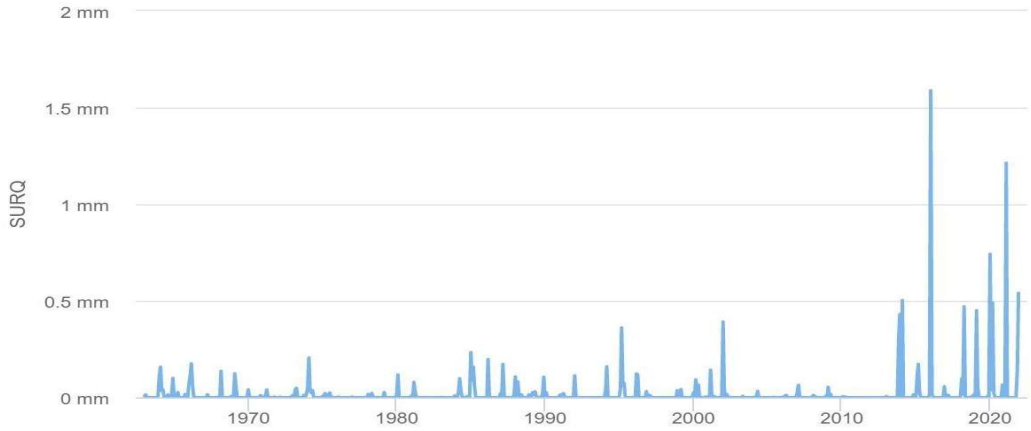



Fonte: autor (2022)

O escoamento superficial do Riacho do Pontal aumentou ao longo dos últimos 05 anos, (Figura 16). Porém, o escoamento superficial sempre foi baixo e não ultrapassou 05 mm desde 1961 até 2014, sendo mais frequentes meses com vazão zero. A partir do ano de 2016 o escoamento superficial apresentou um aumento significativo em alguns anos, superando as médias históricas sobre escoamento, que eram menos de 05 mm, tendo sua maior alta em janeiro de 2016 com 1,59 mm, seguido de fevereiro de 2021 com 1,24 mm de escoamento superficial na bacia. Na Caatinga, os meses de janeiro a abril apresentaram os maiores valores médios de

escoamento, sendo abril o clímax da curva e o mês de maior variação é março com até 2,74 mm de desvio padrão (MIRANDA, 2017).

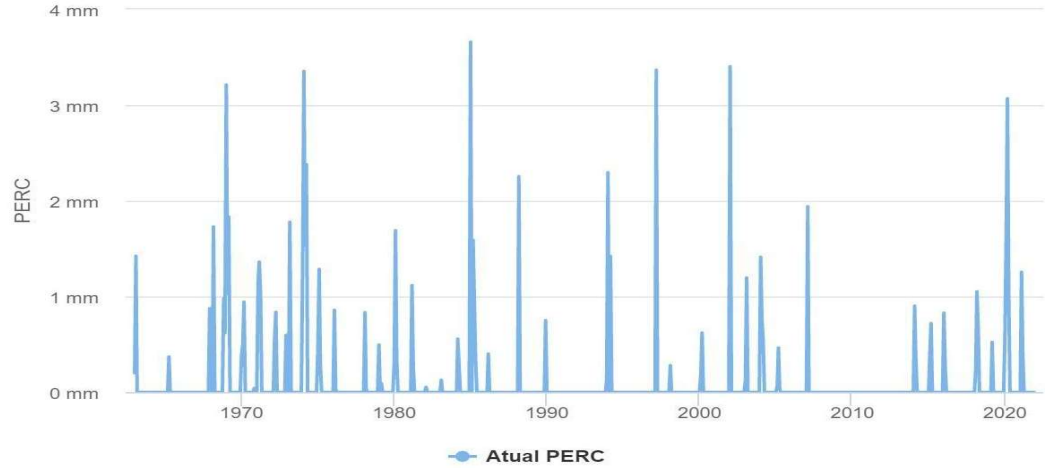
Figura 16- Escoamento superficial da bacia hidrográfica do riacho do Pontal-PE




Fonte: o autor (2022)

A percolação de água no solo na bacia do riacho do Pontal é baixa, estando entre 1 e 2 mm mensais (Figura 17). O maior percentual de percolação na bacia foi registrado em janeiro de 1985, com 3,61 mm, porém os percentuais em sua maioria marcam zero ao longo dos anos registrados. De acordo com Luz e Galvíncio (2021), o volume percolado em bacias no semiárido retorna à superfície através de poços artesianos ou cacimbões e/ou na superfície nos vales. Normalmente, esse padrão seria inversamente proporcional à percolação devido à pobre infiltração de água no solo em áreas de vegetação esparsa (MIRANDA et al., 2017). É mostrado no uso e ocupação do solo na bacia do Pontal, que existe uma forte antropização da Caatinga devido ao uso para empreendimentos ligados à fruticultura irrigada, tornando assim a vegetação original esparsa e não interligada em corredores.

Figura 17 – Percolação de água no solo da bacia hidrográfica do riacho do Pontal-PE

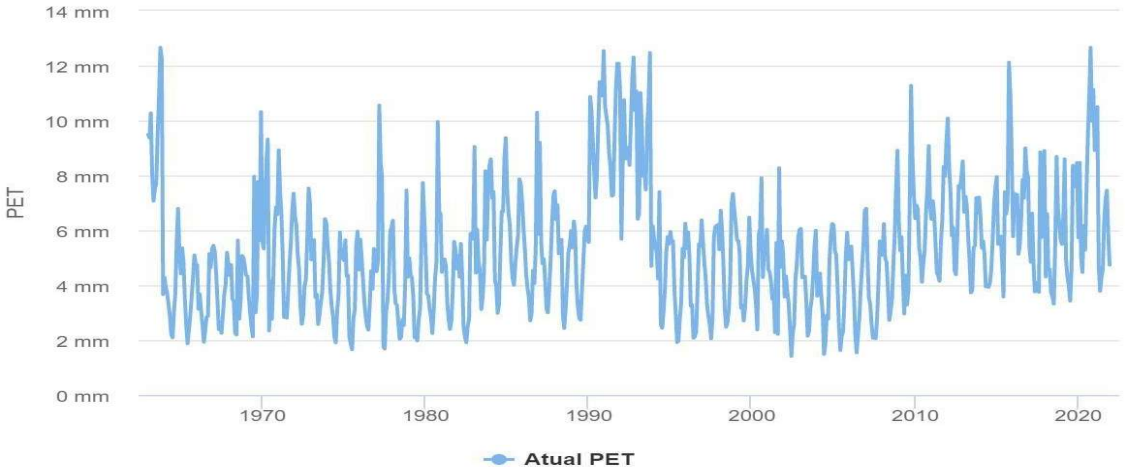



Fonte: o autor (2022)

A evapotranspiração potencial diária esteve entre 10 e 12mm (Figura 18), enquanto a evapotranspiração real esteve entre 1 e 5mm diários (Figura 19). A evapotranspiração é normalmente considerada como a soma de toda a água que se evapora do solo e transpira de plantas (ALLEN et al., 1998; MU et al., 2007). Tais estimativas são úteis para a gestão da água em solos, reservatórios e até mesmo hidrelétricas (GOVENDER; CHETTY; BULCOCK, 2009). Miranda et al., (2017) calibraram o modelo hidrológico SWAT com dados de evapotranspiração obtidos do MODIS para a bacia do Pontal no semiárido de Pernambuco e obteve ótima calibração, considerando que a evapotranspiração tem grande influência no volume escoado nas bacias de Pernambuco, com 60% (315,3mm) da precipitação evapotranspirada no semiárido de Pernambuco.

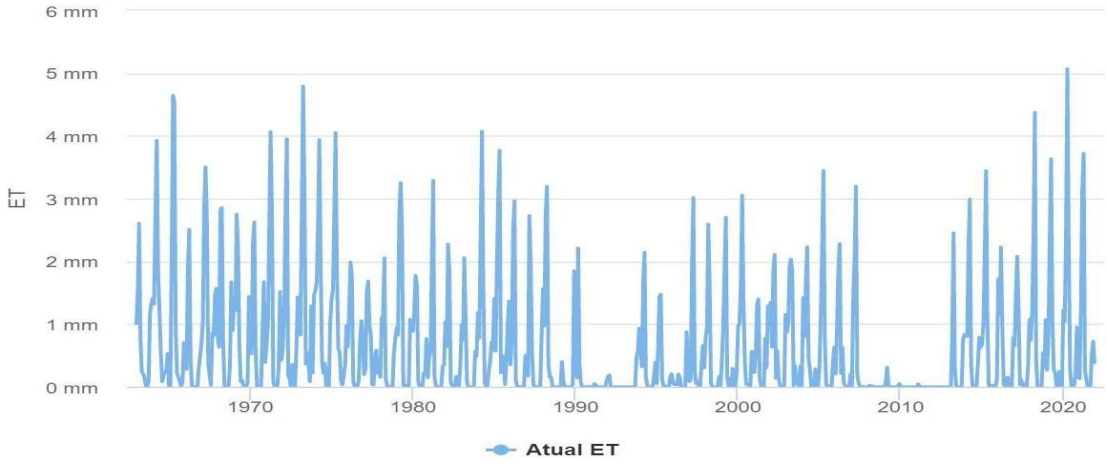
De acordo com Paz (2018), os cenários de mudanças no uso e cobertura do solo, combinado com a rugosidade do solo, interceptação de parte da água da chuva pela vegetação influência na evapotranspiração pela vegetação. Este fato também foi constatado por Perazzoli, Pinheiro e Kaufmann (2013), que apontaram que a variação dos resultados obtidos a partir de distintos cenários também se dá por diferentes taxas de evapotranspiração de diferentes culturas e vegetação, e a infiltração da água devido ao sistema radicular da planta e ao manejo do solo em distintos usos do solo. Nesse sentido, a evapotranspiração observada na bacia sofre grande influência pelo uso e ocupação do solo, que, por sua vez, tem uso para diferentes culturas na fruticultura e naturalmente pela secura do clima que é característico do local.

Figura 18– Evapotranspiração potencial da bacia hidrográfica do riacho do Pontal-PE




Fonte: o autor (2022)

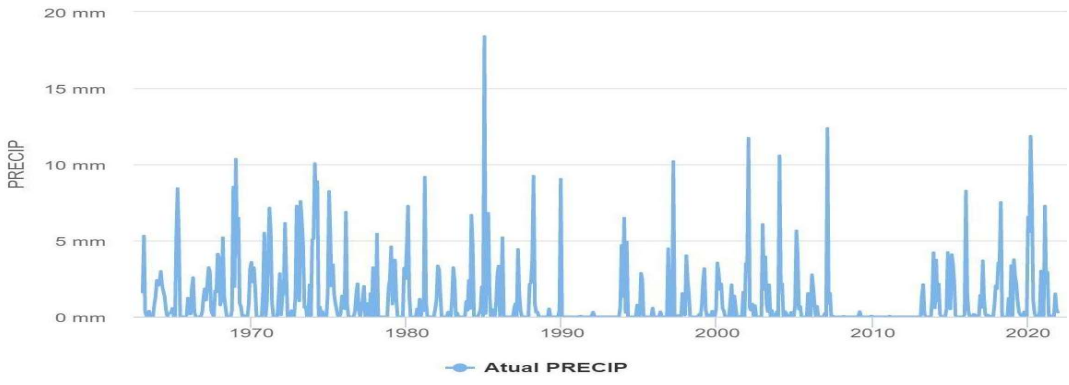
Figura 19– Evapotranspiração real da bacia hidrográfica do riacho do Pontal-PE




Fonte: o autor (2022)

A precipitação média na bacia do Pontal está entre 01 e 05mm, apresentando vários meses do ano de 0,00 mm ao longo do tempo (Figura 20). O maior índice já registrado na bacia foi de 18,406mm em janeiro de 1985. Entre julho de 2007 a fevereiro de 2013 foi o período mais longo de estiagem na bacia. O baixo índice pluviométrico no semiárido provoca o déficit hídrico, mas a associação desta com outros fatores característicos da região, como, por exemplo, as altas temperaturas, solo empobrecido e redução no escoamento superficial (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2009; MIRANDA, 2017), causa grande redução de áreas de vegetação na Caatinga devido a indisponibilidade hídrica.

Figura 20– Precipitação da bacia hidrográfica do riacho do Pontal-PE

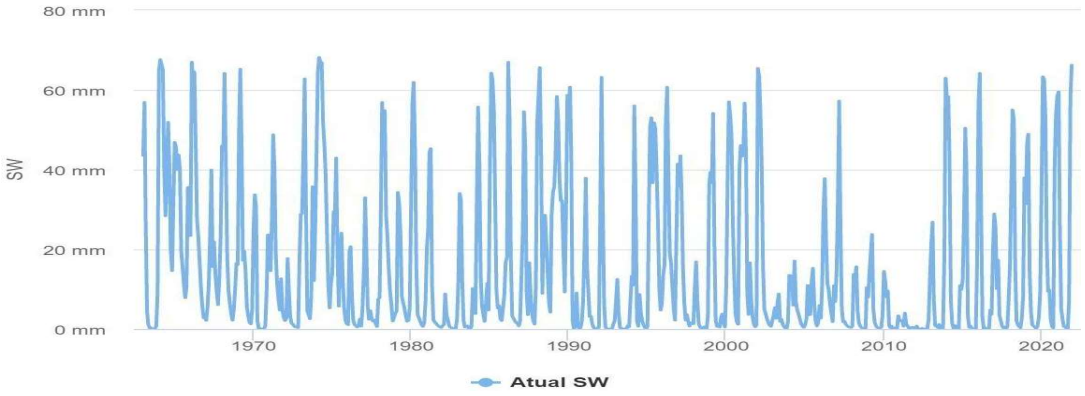



Fonte: o autor (2022)

Em geral, a umidade de água no solo se encontra acima de 20mm/dia, ultrapassando os 60 mm em alguns anos de todo o período registado (Figura 21). Segundo Miranda (2017), no centro da bacia do Pontal a Caatinga é mais densa e a evapotranspiração é maior, variando os gradientes micrometeorológicos, como: luz, temperatura e umidade, mas também os fluxos de água entre a floresta e a atmosfera, no geral, a umidade da água no solo foi maior nas áreas

norte e sul da bacia, onde a densidade da Caatinga também é menor. Normalmente, esse padrão é devido à pobre infiltração de água no solo em áreas de vegetação esparsa.

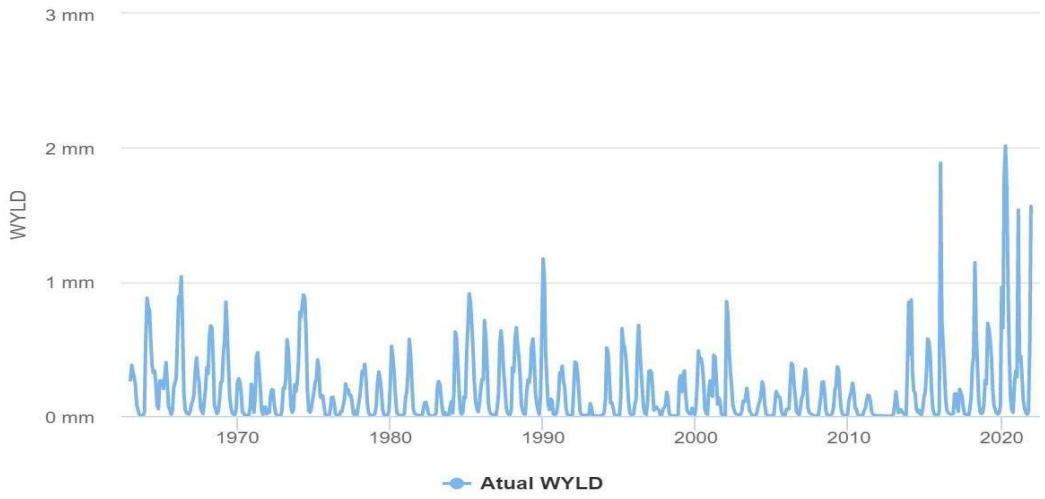
Figura 21– Umidade de água no solo da bacia do Pontal-PE




Fonte: o autor (2021)

O rendimento líquido de água na bacia do Pontal fica em média de 0 mm a 1mm, com maior média já registrado tendo sido em abril de 2020, com 2,15mm (Figura 22). O rendimento líquido da água na bacia do Pontal é baixo, devido a irregularidades de chuvas, característica também observada em outros estudos de modelagem da água em bacias localizadas em áreas semiáridas (PAZ et al., 2022; GALVÍNCIO, 2021; MIRANDA et al., 2020; SCHILLING et al., 2020). Contudo, não é apenas o baixo índice pluviométrico que provoca o déficit hídrico, mas a associação desta com outros fatores característicos da região, como, por exemplo, as altas temperaturas relacionadas com a intensidade luminosa elevada, que provocam uma demanda evaporativa alta e consequente dessecação do solo (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2009).

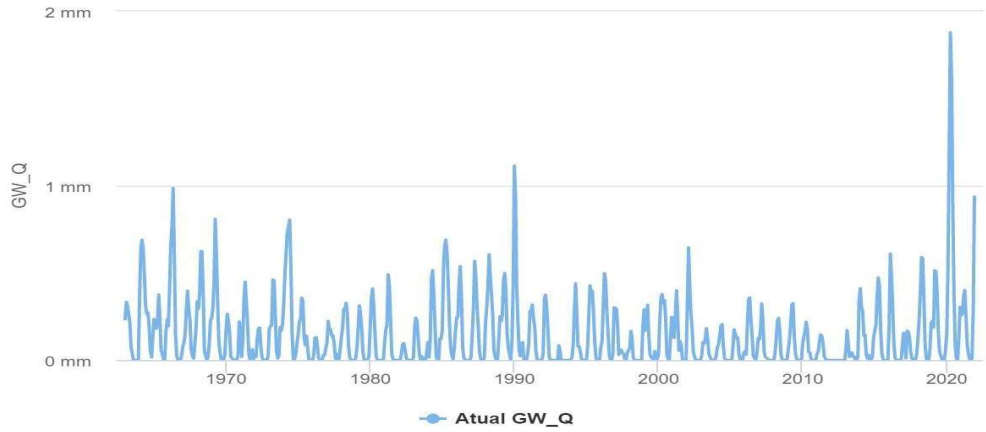
Figura 22– Rendimento líquido de água na bacia do Pontal-PE




Fonte: o autor (2022)

O escoamento de água subterrâneo na bacia do Pontal varia entre 0 mm e 1mm, o é maior índice já registrado foi de 1,87mm no mês de abril de 2020 (Figura 23). De acordo com Miranda (2017) o bioma Caatinga encontra-se associado à região semiárida brasileira e, por isso, as espécies vegetais possuem adaptações e comportamento fenológico associado a dinâmica sazonal da precipitação, onde essa variável influencia diretamente na redução da disponibilidade de água no solo. Essas características dificultam a infiltração de água no solo e a penetração das raízes, o que impacta a estrutura da vegetação (MIRANDA, 2017).

Figura 23– Descarga de água subterrânea na bacia do Pontal-PE

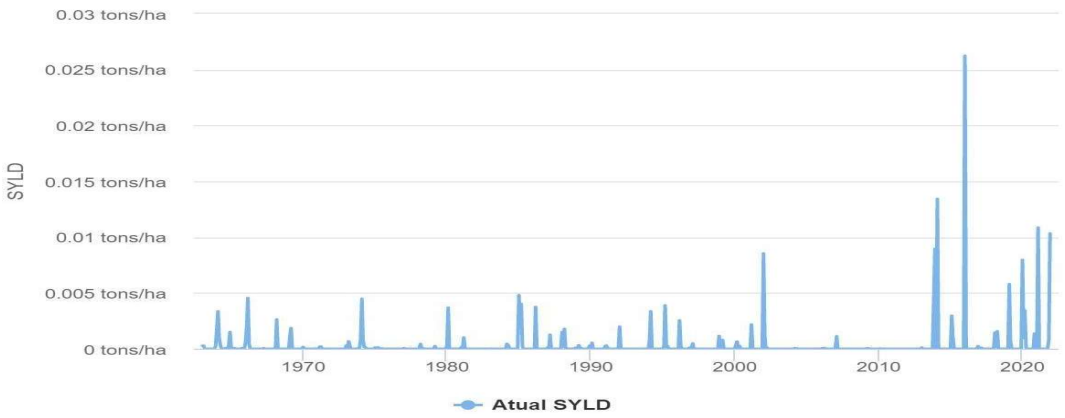



Fonte: o autor (2021)

Paiva et al. (2010) sinalizam que alterações ocorridas no uso e ocupação do solo acarretam mudanças nas características do escoamento da água subterrânea. A derrubada da vegetação nativa para o desenvolvimento da agricultura, pecuária e expansão das cidades aumenta a superfície de solo exposto, diminuindo com isso o potencial de infiltração do solo e recarga dos aquíferos subterrâneos, potencializando, consequentemente, o escoamento superficial (tanto em termos de volume, quanto velocidade), ocasionando a ocorrência de enchentes e a erosão dos solos (SANTOS, 2015).

O rendimento médio de produção de sedimentos na bacia é entre 0 toneladas/ha a 0,005 toneladas/ha, sendo o rendimento de 0 toneladas/há o mais frequente ao longo dos anos de medição. O maior rendimento de sedimentação já registrado na bacia foi de 0,026 toneladas/ha em janeiro de 2016 (Figura 24). A remoção dos horizontes superficiais acarreta perda da capacidade produtiva e estando na rede de drenagem da bacia podem contaminar as águas superficiais através do transporte de sedimentos, nutrientes e agroquímicos (SOUTO; CRESTANA, 2000). Segundo Hernani et al. (2002) a perda anual de solo no Brasil foi estimada em 822,7 milhões de toneladas em áreas de cultivo agrícola e pastagem, produzindo 247 milhões de toneladas de sedimentos.

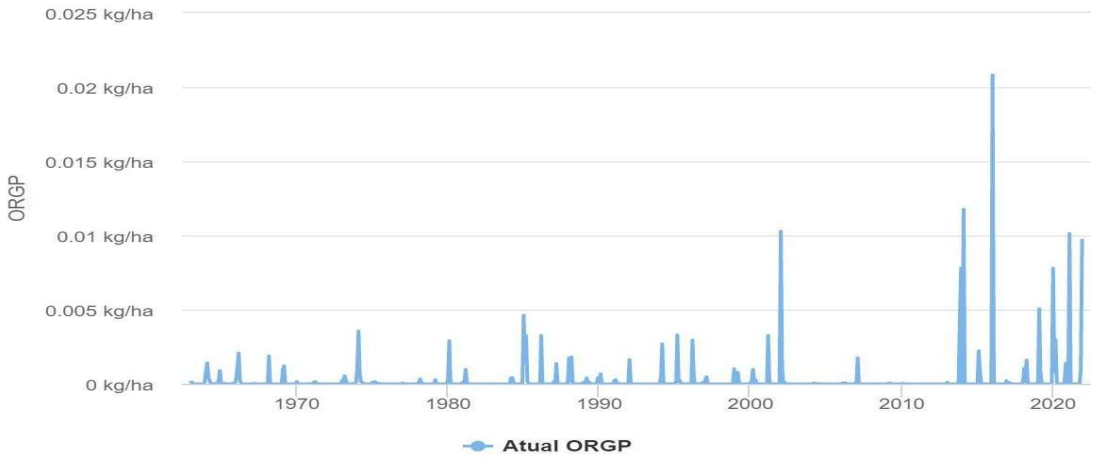
Figura 24– Rendimento sedimentológico na bacia do Pontal-PE




Fonte: o autor (2021)

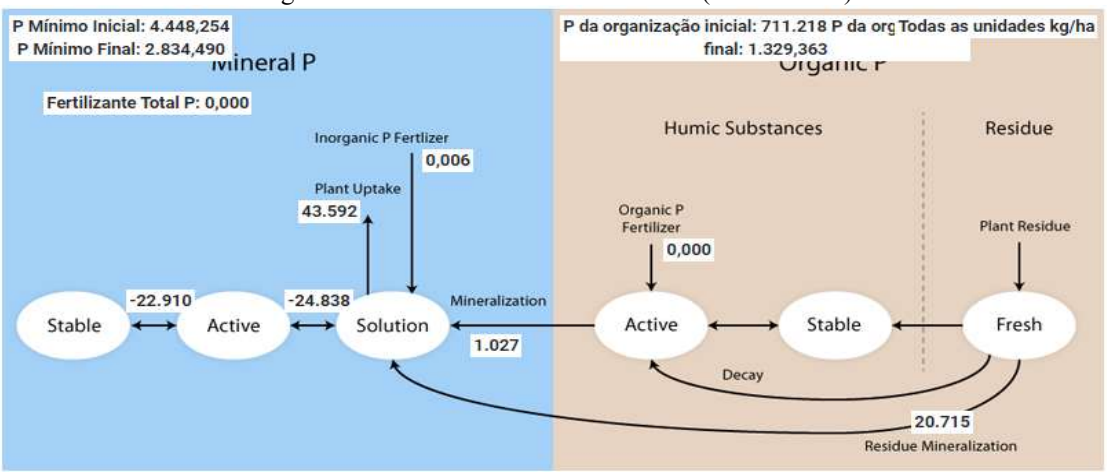
Observando-se os períodos de dados da análise entre concentração de sedimentos do estudo de Paz (2018) verifica-se que a simulação resultou em de 0,26 toneladas/ha média na bacia do Rio Goiana, apresentando bons resultados nos cenários. Outro estudo relacionado à concentração de sedimentos, é o de Santos (2015) que para uma bacia pertencente também ao estado de Pernambuco, que obteve um resultado de 0.35 toneladas/ha média. No estudo de Guimarães Neto (2018) foram encontrados valores de 0,05, e 0,3066 na bacia do Rio Una. Esses valores médios em diferentes bacias demonstram que a bacia do Pontal está em uma média negativa em relação à sedimentação, visto que o uso e ocupação do solo na área vem substituindo vastas áreas de Caatinga aos longos dos anos, prejudicando a rede de drenagem da bacia. A concentração de fósforo na bacia está entre 0 kg/ha e 0,005 kg/há, com a média de 0 kg/ha sendo a mais registrada ao longo dos meses (Figura 25). A maior concentração de fósforo já registrado na bacia foi de 0,021 kg/ha em janeiro de 2016. Conforme mostra (Figura 25).

Figura 25– Concentração de fósforo na bacia do Pontal-PE




Fonte: Autor (2022)

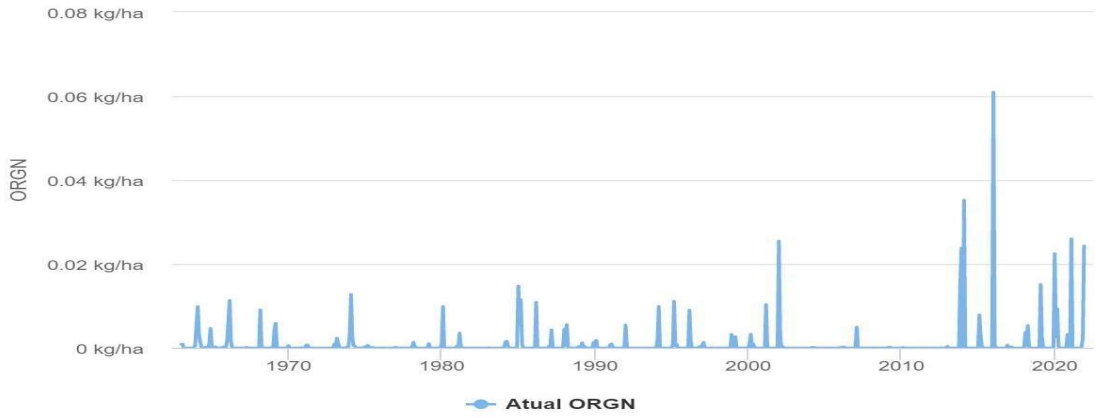
Figura 26- Ciclo de Fósforo médio anual (1961 – 2021)




Fonte: o autor (2022)

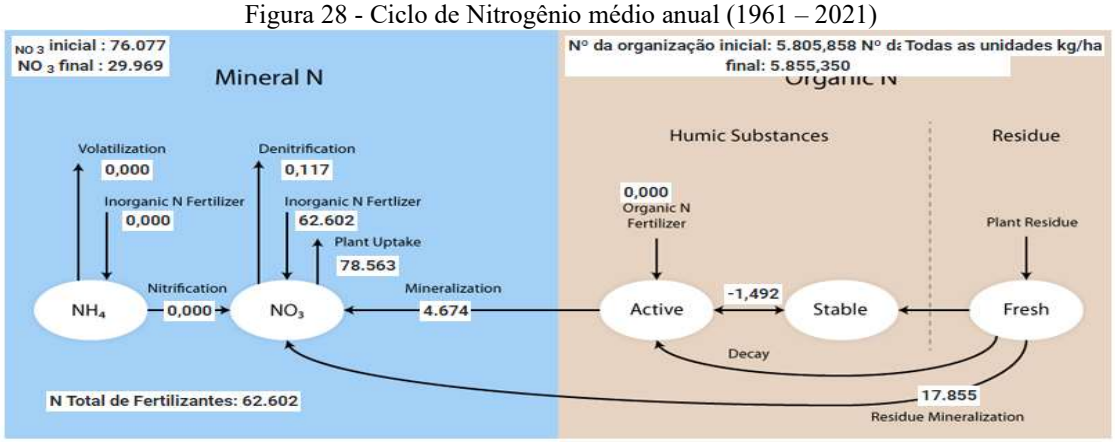
Em relação ao nitrato, a concentração na bacia foi entre 0 kg/ha e 0,02 kg/há, sendo a média de 0 kg/ha a mais registrada ao longo dos meses na área de estudo (Figura 27). A maior concentração de fósforo já registrado na bacia foi de 0,061 kg/ha em janeiro de 2016. De acordo com a APAC (2016), o boletim Pluviométrico diário para o mês de janeiro de 2016 registrou para o sertão pernambucano um dos janeiros mais chuvosos dos últimos 20 anos.

Figura 27– Concentração de nitrato na bacia do Pontal-PE




Fonte: o autor (2021)

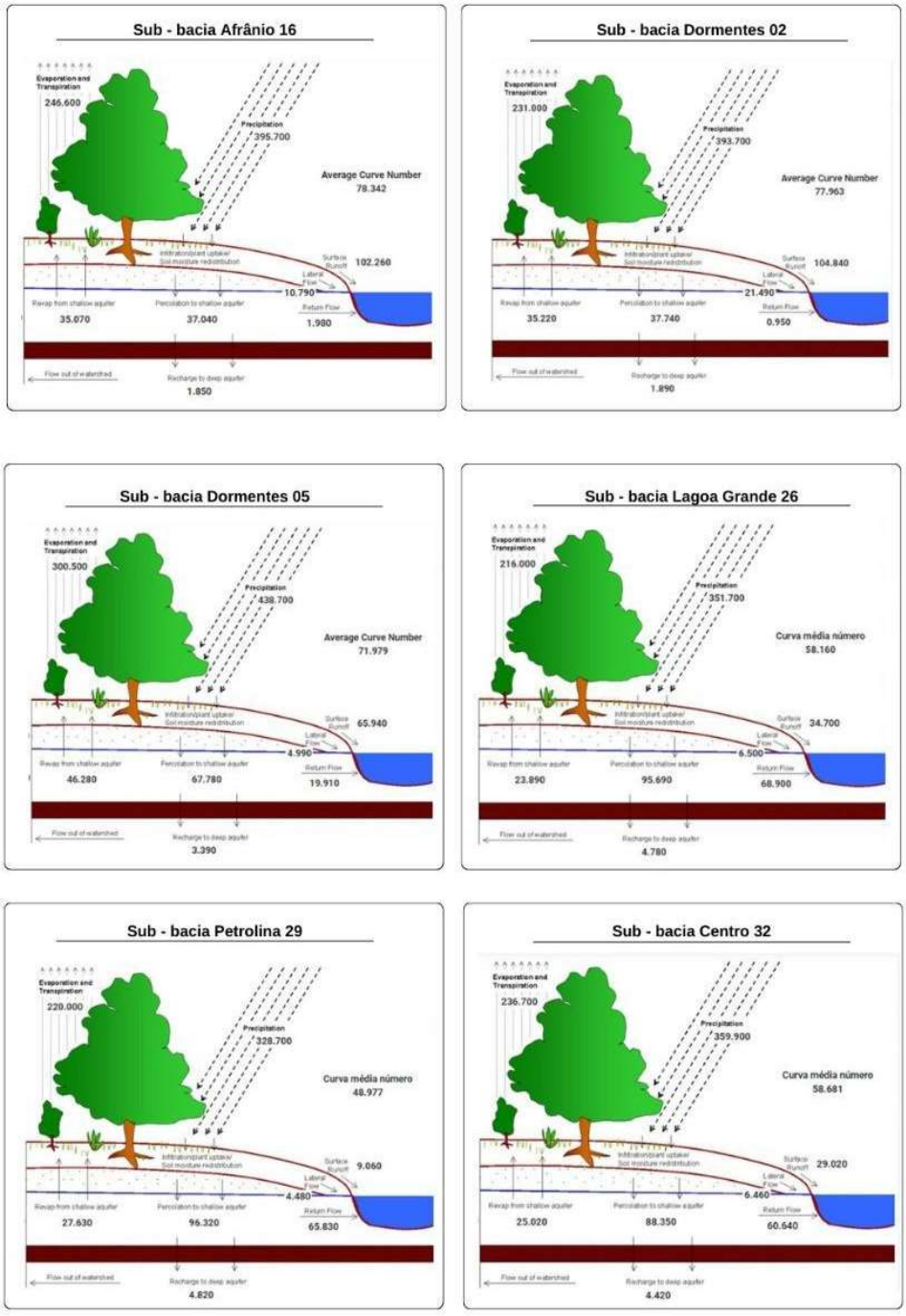
Figura 28 - Ciclo de Nitrogênio médio anual (1961 – 2021)




Fonte: o autor (2021).

A Unidade de Planejamento Hídrico UP13, que corresponde à bacia hidrográfica do riacho do Pontal, é constituída por 40 sub-bacias. As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal (TEODORO *et al.,* 2007). Cada sub-bacia apresenta unidades hidrológicas características. Foram escolhidas seis sub-bacias no território da Bacia do Pontal para discussão de seus aspectos hidrológicos (Figura 29), como suas proporções (Tabela 9).

Figura 29- Ciclo hidrológico médio anual das sub-bacias do riacho do Pontal-PE




Fonte: o autor (2021)

Tabela 9 - Proporções do Balanço Hídrico das sub-bacias riacho do Pontal-PE

| Sub-bacia Afrânio 16 | | Sub-bacia Dormentes 02 | | Sub-bacia Dormentes 05 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Escoamento da superfície/precip | 0.291 | Escoamento da superfície/precip | 0.323 | Escoamento da superfície/precip | 0.207 |
| Fluxo de base/fluxo total | 0.111 | Fluxo de base/fluxo total | 0.176 | Fluxo de base/fluxo total | 0.274 |
| Escoamento da superfície/fluxo total | 0.889 | Escoamento da superfície/fluxo total | 0.824 | Escoamento da superfície/fluxo total | 0.726 |
| Percolação/Precip | 0.094 | Percolação/Precip | 0.096 | Percolação/Precip | 0.155 |
| Recarga profunda/Precip | 0.005 | Recarga profunda/Precip | 0.005 | Recarga profunda/Precip | 0.008 |
| Evapotranspiração Precipitação | 0.623 | Evapotranspiração Precipitação | 0.587 | Evapotranspiração Precipitação | 0.685 |
| **Sub-bacia Lagoa grande 26** | | **Sub-bacia Petrolina 29** | | **Sub-bacia Centro 32** | |
| Escoamento da superfície/precip | 0.313 | Escoamento da superfície/precip | 0.241 | Escoamento da superfície/precip | 0.267 |
| Fluxo de base/fluxo total | 0.685 | Fluxo de base/fluxo total | 0.886 | Fluxo de base/fluxo total | 0.698 |
| Escoamento da superfície/fluxo total | 0.315 | Escoamento da superfície/fluxo total | 0.114 | Escoamento da superfície/fluxo total | 0.302 |
| Percolação/Precip | 0.272 | Percolação/Precip | 0.293 | Percolação/Precip | 0.245 |
| Recarga profunda/Precip | 0.014 | Recarga profunda/Precip | 0.015 | Recarga profunda/Precip | 0.012 |
| Evapotranspiração Precipitação | 0.614 | Evapotranspiração Precipitação | 0.669 | Evapotranspiração Precipitação | 0.658 |

Fonte: o autor (2021)

A sub-bacia 16, denominada neste estudo de Afrânio 16, está inserida no território deste município, representada pelo Riacho Cachoeira do Roberto, localizado na porção Oeste de Bacia com área de 409,74 km$^2$. O balanço hídrico médio anual da sub-bacia 16 de forma geral, apresenta as seguintes razões: 29,24% da precipitação é perdida por evapotranspiração; apenas 41,73% do fluxo total da bacia é superficial; 4,41% da precipitação é percolada e a precipitação média anual é de 395mm.

Na sub-bacia 02, chamada neste estudo de Dormentes 02, encontra-se no território deste município junto à divisa com o município de Afrânio, representada pelo Riacho do Dormente, estando localizado na porção Oeste de Bacia, com uma área de 122,56 km$^2$. O balanço hídrico médio anual da sub-bacia 02 apresenta as seguintes expressões: 34% da precipitação é perdida por evapotranspiração; apenas 10,29% do fluxo total da bacia é superficial 5,61% da precipitação é percolada e a precipitação média anual é de 393mm. As médias anuais de precipitação deram iguais para as sub-bacias 01 e 02 pelo fato das duas estarem na mesma área, visto que o fator de chuvas na região é escasso influenciando no resultado.

Os resultados do estudo de Chaves *et al.,* (2021) na bacia do Riacho São José, que é uma sub-bacia da Bacia do Riacho do Pontal, mostrou que os serviços ecossistêmicos da água compreendem valores mínimos, variando entre 0,01 % e 0,03, isso porque o balanço hídrico baixo na bacia, que está no semiárido, e tem pouca ocorrência de precipitações, e quando esta ocorre em alguns meses do ano, são pouco distribuídas espacialmente e, além disso, a incidência da radiação solar potencializa a evapotranspiração.

Na sub-bacia 05, mencionada neste estudo como Dormentes 05, que está no município de Dormentes, é representada pelo riacho Lagoa de Fora e está sub-bacia está inserida totalmente no território do município e tem uma área de 109,66 km$^2$. O balanço hídrico médio anual nesta sub-bacia mostra as seguintes razões: O balanço hídrico médio anual da sub-bacia 05 apresenta as seguintes expressões: 26,86% da precipitação é perdida por evapotranspiração; apenas 10,74% do fluxo total da bacia é superficial; 6,07% da precipitação é percolada e a precipitação média anual é de 438mm. As regiões semiáridas normalmente apresentam longos períodos de seca seguidos de curtos períodos chuvosos, afetando as sub-bacias e toda a dinâmica hídrica (SOUZA *et al.,* 2015). A bacia do Pontal-PE tem um longo histórico de seca em todo território da bacia. A região Nordeste do país e principalmente o semiárido se destaca por possuir um clima em que secas periódicas são comuns, tornando-a um grave problema social (FRANÇA, 2021).

A sub-bacia 26, aqui denominada de Lagoa Grande 26, localizada no município do mesmo nome, e aqui retratada pelo riacho das Garças, tem uma área total de 326,87 km$^2$. A média anual do balanço hídrico da sub-bacia é representada com: 27,53% da precipitação é perdida por evapotranspiração; apenas 30,71% do fluxo total da bacia é superficial; 12,19% da precipitação é percolada e a precipitação média anual é de 351mm. Destaca-se que boa parte do território da sub-bacia 26 está em uma área de proteção. O Refúgio de Vida Silvestre Tatu-Bola, uma Unidade de Proteção Integral, criada em 16 de março de 2015 com objetivo de expandir o número de áreas de proteção no Estado de Pernambuco, por ser um bioma único, comporta uma enorme diversidade de espécies endêmicas da Caatinga (ALBERGARIA; SILVA; SILVA, 2019).

Áreas de proteção da Caatinga melhoram as condições do balanço hídrico em sub-bacia e, consequentemente, os serviços ecossistêmicos na região. Nesses ambientes semiáridos onde a vegetação encontra-se preservada, as dinâmicas ecológicas se desenvolvem em equilíbrio, e em decorrência a prestação dos SE de regulação de água melhora efetivamente, além disso, outros usos dos SE nessas áreas também têm significativa melhora (CHAVES *et al.,* 2021). A disponibilidade de recursos hídricos, por exemplo, é fortemente influenciada pelos remanescentes de florestas nativas no semiárido, que exercem papel de regulador dos fluxos hídricos, através da reciclagem e transporte da umidade (MARENGO *et al.,* 2018).

A sub-bacia 29, chamada neste estudo de Petrolina 29, se encontra no município de Petrolina, sendo representada pelo Riacho do Pontal, com uma área total de 122,06 km$^2$. O balanço hídrico médio anual da sub-bacia 29 apresenta as seguintes razões: 30,27% da precipitação é perdida por evapotranspiração; apenas 40,09% do fluxo total da bacia é

superficial; 13,25% da precipitação é percolada e a precipitação média anual é de 328mm. Esta bacia está em proximidade da região do vale no submédio São Francisco, na área de influência do Polo Hidroagrícola Petrolina (PE)-Juazeiro (BA), o mais importante centro de produção e de exportação de frutas tropicais irrigadas do Brasil. De acordo com Silva (2014), esta sub-bacia encontra-se no perímetro irrigado do projeto Pontal Norte e Pontal Sul. No perímetro irrigado tem-se maior evapotranspiração do que nas demais áreas da Bacia do Riacho do Pontal em razão da presença de agricultura na área (SILVA, 2014).

Na Sub-bacia 32, mencionada neste estudo como Centro 32, está no município de Lagoa Grande, e representada pelo Riacho Pontal, com uma área total de 542,31 $km^2$. O balanço hídrico médio anual da sub-bacia 32 tem as seguintes razões: 30,18% da precipitação é perdida por evapotranspiração; apenas 0,32% do fluxo total da bacia é superficial; 11,23% da precipitação é percolada e a precipitação média anual é de 359mm. Esta sub-bacia encontra-se próximo dos perímetros irrigados do projeto Pontal, sofrendo influência direta dos processos de irrigação na porção Sul da bacia. No estudo de Rodrigues *et al.* (2020), no município de São Miguel do Anta em Minas Gerais, o principal fluxo de saída de água da bacia hidrográfica é devido à evapotranspiração, correspondendo a 80%, que é dominado pelo setor agrícola, onde está influenciado diretamente os processos hidrológicos. A diferença entre as áreas pertencentes aos perímetros irrigados e as áreas adjacentes, e que denotam uma alta evapotranspiração, indicam que as áreas vegetadas necessitam de água em grande quantidade para que as plantas consigam realizar seus processos metabólicos sem prejuízo para seu desenvolvimento (SILVA, 2014).

A compreensão do balanço hídrico de regiões semiáridas é fundamental para a resolução de muitos problemas relacionados à agricultura, abastecimento e ao planejamento municipal, uma vez que estas áreas naturalmente servem de tampão para o escoamento superficial, que está intimamente ligado à perda de safras inteiras, períodos e deslizamentos de terra em áreas residenciais (MIRANDA, 2017).

Desta maneira, o monitoramento dos processos hidrológicos e, por conseguinte, a elaboração de um balanço hídrico que se fundamenta pelo desdobramento da quantidade de água precipitada, de tal modo possibilitando ações de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, possibilitando a gestão das suas águas e florestas e o manejo correto destes territórios.

Bacias e sub-bacias com alta proporção de áreas florestadas possuem uma maior capacidade de atenuação do escoamento superficial, bem como de purificação de recursos hídricos (POSTEL THOMPSON, 2005; WANG *et. al.,* 2015). Portanto, para assegurar o

fornecimento e a manutenção dos recursos hídricos em bacias hidrográficas devem-se conservar as áreas com cobertura florestal e estabelecer critérios de manejo sustentável no uso da terra (RODRIGUES *et al.,* 2019).

Assim, o conhecimento acerca dos processos subjacentes ao balanço hídrico de bacias e sub-bacias é fundamental para conservar os recursos hídricos fornecidos à população, bem como para subsidiar o planejamento baseado no manejo sustentável de propriedades rurais para garantir simultaneamente a produção de alimentos e a manutenção desses serviços ecossistêmicos e consequentemente, beneficiar a área para programas ambientais, tal qual, o pagamento por serviços ambientais.

### 4.2.4 Identificação e caracterização socioeconômica dos moradores da bacia hidrográfica do Riacho do Pontal – PE

Avaliar as características socioeconômicas de uma população é sempre um grande desafio uma vez que envolve aspectos de vida, culturais e econômicos. Em regiões semiáridas o desafio é ainda maior devido a esse local possuir características singulares de sobrevivência. Conforme representado na tabela 10, a singularidade do ambiente muda para dar lugar a uma população com faixa etária, gênero, escolaridade e renda diversificado e por ser assim apresentam diferentes olhares para o ambiente em que vivem.

Os resultados da análise socioeconômica do questionário demonstram homogeneidade, sendo as expressões utilizadas através da métrica baseada na distância Euclidiana (BOLDRINI et al., 1986). No quesito idade, a predominância foi de 18 a 24 anos (43,4%), sendo estas pessoas jovens, seguido da segunda faixa de idade de 25 a 34 anos, correspondendo a 24,4%. Em relação à faixa etária, o estudo apontou que os mais jovens têm maior preferência pela DAP pelos serviços ecossistêmicos de regulação da água na bacia (Tabela 10), mostrando que as novas gerações que vivem na região estão preocupadas quanto à questão dos serviços ecossistêmicos da água. A DAP de pessoas mais jovens sempre leva em conta as preocupações com as questões ambientais e o pensamento nas futuras gerações que podem precisar de tais recursos, conforme apontam outros estudos (FORLEO; ROMAGNOLI; PALMIERI, 2019; SÁNCHEZ et al., 2018).

A correlação da variável gênero ficou bem próxima, sendo masculino 50,08% e feminino 49,02%. A correlação de todos os dados foi testada com o teste de correlação de Pearson (ZAR, 1996). A escolaridade dos moradores da bacia hidrográfica apontou que o grau de maior escolaridade é o de pessoas com curso superior 43,45%.

Tabela 10 - Características socioeconômicas dos entrevistados na bacia do Pontal-PE

| **Variável** | Distribuição |
|---|---|
| **Sexo** | |
| *Feminino* | 50,08% |
| *Masculino* | 49,02% |
| **Escolaridade** | |
| *Fundamental Incompleto* | 3,15% |
| *Fundamental Completo* | 3,15% |
| *Ensino Médio Incompleto* | 2,05% |
| *Ensino Médio Completo* | 27,03% |
| *Ensino Técnico* | 3,15% |
| *Ensino Superior* | 43,45% |
| *Pós-Graduação* | 18,02% |
| **Faixa Etária** | |
| *18 a 24 anos* | 43,04% |
| *25 a 34 anos* | 24,04% |
| *35 a 44 anos* | 13,55% |
| *45 a 54 anos* | 16,34% |
| *55 a 65 anos* | 3,03% |
| **Renda** | |
| *Até 1 SM* | 45,04% |
| *Até 2 SM* | 15,50% |
| *Até 3 SM* | 6,42% |
| *Até 4 SM* | 27,01% |
| *> 5 ou mais* | 6,03% |

Fonte: o autor (2019)

A variável renda mensal mostra que as pessoas que habitam a região contemplada neste estudo recebem até um salário-mínimo 45,4%, indicando que este valor é igual a média da maioria da população brasileira, independente de qual região reside.

Esta variável foi a maior pelo fato da maioria dos participantes da entrevista ter sido pessoas jovens, que de acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2018), é a faixa etária que ganha menos e está mais vulnerável às condições sociais no Brasil. Outros estudos (BARBIER; CZAJKOWSKI; HANLEY, 2017; NURMI; AHTIAINEN, 2018;

SARDANA, 2019) apontaram condições iguais em relação à faixa salarial, mostrando que as pessoas que ganham menos têm maior DAP pela conservação dos serviços ecossistêmicos que as pessoas que tem maior poder aquisitivo.

Mostrando os dados socioeconômicos MVC/DAP, a próxima seção versa sobre a percepção ambiental da parte interessada sobre os serviços ecossistêmicos de regulação da água na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal-PE.

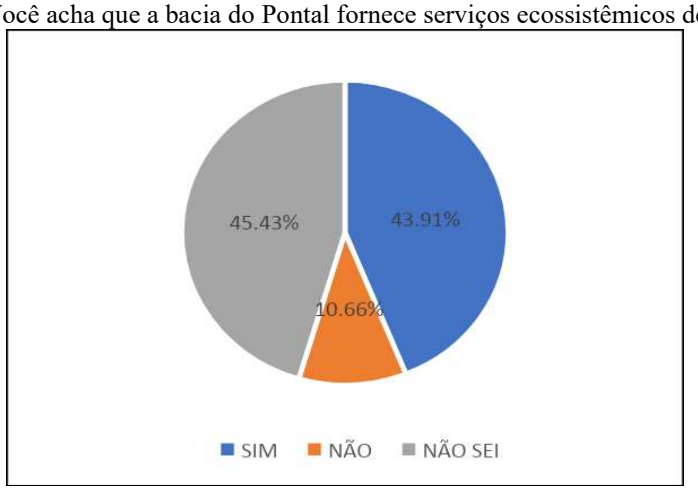
Outros estudos com o uso do MVC/DAP em ambientes semiáridos, como os de Guerrero-Baena et al. (2019) e Petousi *et al*. 2015), também analisaram municípios diferentes em uma mesma bacia hidrográfica e constataram que vários fatores podem afetar a avaliação econômica colocada. Nesse sentido, a análise das diferentes características ambientais que existem em uma bacia hidrográfica é enorme, e abordam diversos assuntos, como: questões do uso e ocupação do solo, acesso a água, poluição, desmatamento e serviços diversificados.

### 4.3 Percepções sobre os serviços ecossistêmicos de regulação da água no semiárido brasileiro

Na aplicabilidade do questionário (APÊNDICE A) foi explicado o que são os serviços ecossistêmicos, e em especial os serviços de regulação em uma bacia hidrográfica em relação à água. A partir daí, os entrevistados foram convidados a avaliar sua percepção sobre o meio em que estão, onde foi lançada a seguinte pergunta:

"*Você acha que a Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE fornece serviços ecossistêmicos de regulação da água no semiárido através do Rio Pontal?"*. Dos entrevistados, 10,7% disseram que não, 45,4% optaram pelo não sei como opção, enquanto 43,9% disseram sim (Figura 30).

Figura 30– Você acha que a bacia do Pontal fornece serviços ecossistêmicos de regulação




Fonte: o autor (2019)

Tabela 11. Percepção sobre os serviços ecossistêmicos da água na Bacia Pontal – PE

| **De acordo com o seu entendimento, você acha que quais serviços ecossistêmicos de regulação, sendo conservados, podem contribuir com quais processos naturais na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE?** | | |
|---|---|---|
| Regulação do microclima | 54 | 7.7 |
| Regulação da água (vazão) | 47 | 6.7 |
| Regulação de inundações e erosão | 17 | 2.4 |
| Purificação da água | 251 | 35.6 |
| Retenção de sedimentos | 13 | 1.8 |
| Todos os citados | 109 | 15.5 |

Fonte: o autor (2019)

A maioria dos entrevistados nunca ouviu falar do termo 'serviços ecossistêmicos'. No entanto, ao ser explicado eles entenderam facilmente o significado de cada serviço ecossistêmico individual, e as implicações que tiveram em relação da estes serviços com as suas vidas em algum período, já que os recursos hídricos na região semiárida brasileira são escassos e influencia a dinâmica social de grande parte dos moradores.

Já 43.9% dos entrevistados responderam “SIM”, que a Caatinga fornece serviços ecossistêmicos, inclusive dando exemplos dentro do seu conhecimento empírico sobre a região. Uma informação importante gerada neste estudo foi o alto número de respostas relacionadas à opção “NÃO SEI”, 45.4%, dos entrevistados, mesmo depois da leitura do significado de serviços ecossistêmicos, não conseguiram identificar na paisagem tais características, optando pelo não sei como resposta naquele momento.

Entre os entrevistados, 10.7% optaram pela resposta “NÃO”, sendo categóricos em suas respostas, afirmando que as florestas sazonalmente secas no semiárido brasileiro sempre estão em constante processo de desmatamento, deixando a paisagem triste e que naquele ambiente nenhuma interação biofísica dos serviços ecossistêmicos de regulação da água era percebida. Outros indicaram esta opção por falta de projetos de conservação das florestas sazonalmente secas pelos tomadores de decisão, que não legislavam em prol deste ecossistema e por isso não via significado nesta relação.

Pesquisas recentes apontaram que o ambiente verde e conservado leva a uma preferência positiva por parte dos entrevistados. Por exemplo, os autores Tarashkar; Hami; Namin, (2020),

em seu estudo sobre um ecossistema semiárido, verificaram que as preferências pela qualidade espacial da paisagem são significativamente afetadas por componentes climáticos, hídricos e de vegetação, e quando o ambiente está verde ele é pontuado positivamente.

Partindo para a segunda pergunta, foi questionado para os 43.9% dos entrevistados que responderam "SIM", se eles reconheciam, através da sua percepção, algum serviço ecossistêmico de regulação da água, através da seguinte pergunta: *"De acordo com o seu entendimento, você acha que os serviços ecossistêmicos de regulação da água, sendo conservados através da Caatinga, podem contribuir com quais processos naturais na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE?"*. As respostas apresentadas na tabela 11, mostram uma disparidade entre as percepções, onde muitos serviços estão interligados, porém este elo não era percebido pelos entrevistados.

O valor mais alto, 35.6%, foi atribuído à "*purificação da água"*, e o valor mais baixo, 1.8%, foi atribuído a "*Retenção de sedimentos"*. Entre os entrevistados, tiveram aqueles que conseguiram perceber todos os serviços ecossistêmicos de regulação da água na floresta sazonalmente seca do semiárido, 15.5% responderam "*Todos os citados"*. Um dado importante foi percebido por poucas pessoas, 7.7% indicaram que a "*Regulação do clima"* dependia da floresta sazonalmente seca conservada, os demais entrevistados pontuaram que esta relação não existe, já que o local vive sempre quente e seco. Em relação à *Regulação da água (vazão),* apenas 6.7% perceberam que se a floresta estiver conservada e protegida, o aumento na quantidade da água pode sim existir, contribuindo para uma melhor infiltração e percolação no solo, escoamento para aquíferos e rios mais perenes na região. Apenas 2.4% dos entrevistados perceberam que a *Regulação de inundações e erosão* está associada à conservação das florestas sazonalmente secas, onde pode acontecer a regulação da remoção da partícula da rocha e do solo pela ação da água, menor lixiviação da camada superficial e proteção das margens dos rios.

Visto que os serviços ecossistêmicos de regulação da água menos percebidos foram os de Retenção de sedimentos e Regulação de inundações e erosão, estes SE sofrem grande influência nos grandes períodos de estiagem na região, que tem a maioria dos seus rios e riachos efêmeros ou intermitentes, e como o ambiente sofre um grande período de secura, estes serviços são pouco percebidos na paisagem.

No estudo de Santoro et al. (2019), a retenção de sedimentos foi vista como um importante serviço pelas partes interessadas, já que cumpre um importante papel, como agregação do solo e maior volume de matéria orgânica no solo, trazendo menos riscos de inundações e mais proteção às margens dos rios e riachos.

Apesar de pouco percebido, os serviços ecossistêmicos de regulação da vazão foram descritos como de muita importância pelos entrevistados, que entenderam uma relação com a Caatinga, apontando que se acontecer a conservação do ecossistema, podem ser percebidos importantes serviços, tais como a melhor infiltração e percolação no solo pela água, acarretando mais escoamento para os aquíferos e deixando os rios mais perenes ao longo do ano. Citando um caso análogo em seu estudo, Morote; Olcina; Hernández (2019) explicam que esses cenários de conservação da floresta sazonalmente secas em ambientes semiáridos devem ser levados muito em consideração para adaptar esses territórios às secas e reduzir sua vulnerabilidade. Isso foi percebido no semiárido brasileiro, onde os entrevistados associaram que se tiver mais floresta conservada vai ter mais água no local.

A percepção da *Regulação do microclima* envolve, em certa medida, aspectos visuais e de sensação térmica, que são levados em consideração quando os indivíduos são solicitados a expressar seus votos em relação à sensação térmica em um determinado espaço interno ou externo. Para Knez (2003) e Kruger e Costa (2019), é possível que os entrevistados tenham um preconceito sobre o clima local a partir das características visuais da paisagem, conforme foi descrito em seus estudos.

Como a vegetação da floresta no semiárido do Brasil é seca na maioria dos meses do ano, esta percepção da paisagem traz uma sensação de calor que é normal nesta região, consequentemente, a população destes ambientes associam a sensação de calor à paisagem seca da floresta, influenciando diretamente na percepção deste serviço ecossistêmico de regulação da água e da vegetação. Sendo assim, a percepção deste serviço no semiárido brasileiro foi considerada baixa.

O serviço ecossistêmico de regulação da água mais percebido pelos entrevistados foi o de *Purificação da água*, que foi identificado como o mais importante para a conservação da Caatinga no semiárido brasileiro. Como em outros estudos (BLANCO et al., 2020; JALIGOT; CHENAL; BOSCH, 2019; MILLER; MONTALTO, 2019; RICART; KIRK; RIBAS, 2019; ZHANG et al., 2020), este serviço foi o mais percebido pelas partes interessadas, apresentando uma relação direta com a conservação dos ecossistemas, proteção das nascentes, abastecimento dos aquíferos e equilíbrio da vida em diversos ambientes. Os serviços ecossistêmicos baseados em florestas são mais importantes para os entrevistados quando envolvem usos de subsistência do que os benefícios econômicos (AHAMMAD; STACEY; SUNDERLAND, 2019).

Como o maior número de entrevistados identificou a purificação de água doce nas florestas sazonalmente secas, esta percepção parte do princípio de uso e subsistência dos moradores desta região que convivem por muitos meses do ano sem água abundante para as

suas atividades diárias e de consumo. A quantidade e qualidade em declínio dos serviços ecossistêmicos em ambientes semiáridos, como a polinização e a quantidade de água, impactam a vida das pessoas e o equilíbrio ambiental. Como consequência, acarreta menos serviços ecossistêmicos e o bem-estar social (SMITH; SULLIVAN, 2014).

É um consenso entre as partes interessadas que participaram deste estudo que as práticas e a relação com o uso da terra sejam mudadas. No semiárido brasileiro, a floresta sazonalmente seca é de suma importância para o desenvolvimento da região. É preciso que os tomadores de decisão consigam entender a importância da floresta e o equilíbrio que ela traz para os habitantes do semiárido, combatendo o desmatamento, propondo ações sustentáveis e protegendo o ecossistema contra ações antrópicas.

A análise de cenários tem sido cada vez mais reconhecida como uma ferramenta útil para explorar futuros caminhos plausíveis para entender as mudanças sociais e ambientais incertas (SAITO et al., 2019).

Como em outros estudos de percepção dos serviços ecossistêmicos, foi colocada no questionário de entrevista uma opção que descrevia todas as alternativas da percepção no cenário da floresta sazonalmente seca, que era descrita como: *Todos os serviços ecossistêmicos de regulação citados*, onde 15,5% dos entrevistados informaram perceber todos os serviços ecossistêmicos de regulação da água na floresta sazonalmente seca no semiárido brasileiro. Visto na mediana da Tabela 12.

Tabela 12 - Mediana das quantidades de serviços ecossistêmicos da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE que o entrevistado afirma conhecer

| N | Média | D.P. | C.V. (%) | Mediana | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 80 | 4.55 | 1.89 | 41.6 | 6 | 1 | 6 |

Fonte: o autor (2020)

Sendo está a segunda alternativa mais citada no estudo, mostra que a população local consegue perceber no ambiente semiárido seu potencial quando este está conservado, e que este ecossistema está estritamente ligado aos recursos hídricos que são tão importantes para a região. A partir deste estudo, fica claro que os serviços regulatórios da água na floresta Caatinga do semiárido brasileiro transcendem os limites de percepção dos tomadores de decisão política e adentra a população que quer ser ouvida e quer participar dos processos inerentes à região.

Os recursos naturais contidos nas paisagens semiáridas não apenas apóiam a produção de alimentos, fibras e biocombustíveis, mas também fornecem uma variedade de benefícios públicos à sociedade, como o sequestro de carbono, paisagens estéticas, conservação da

biodiversidade e, principalmente, a produção de água, que tem valor imensurável em ambientes secos, como os semiáridos, que fornecem uma gama imensa de serviços ecossistêmicos. Portanto, investigar a percepção ambiental da população e os valores sociais dos serviços ecossistêmicos contidos nas paisagens é um fator importante que normalmente incorpora vários grupos de partes interessadas. Em especial, eles fornecem uma compreensão mais precisa da relevância social dos serviços ecossistêmicos para as partes interessadas locais, permitindo uma maior sensibilidade (DERY et al., 2019).

### 4.4 Disposição a pagar pela conservação dos serviços ecossistêmicos de regulação da água no semiárido

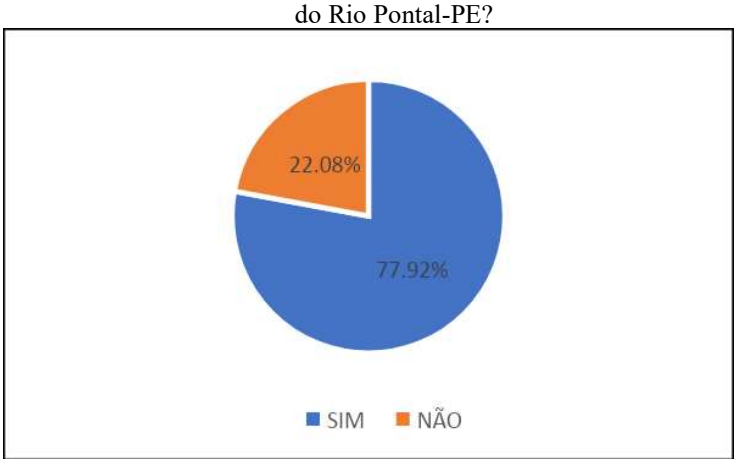
A DAP entre os moradores do território da bacia do Riacho do Pontal-PE foi de 77,9%, demonstrando que a população local tem disposição a pagar pela conservação dos serviços ecossistêmicos de regulação da água no semiárido. A negativa sobre a DAP foi de 22,1%, não estando dispostos a contribuir com a DAP (Figura 31). O valor da moda declarado na preferência da população para promover a conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação da água na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal-PE foi de 10,00 Reais, com 26,4% sendo a preferência revelada para a DAP.

Um outro fator que chamou atenção neste estudo foi o resultado do *NÃO SEI* sobre o valor da DAP, correspondendo a 27,4% das pessoas entrevistadas no território da bacia (Figura 32). A vantagem desta opção estaria no ganho de informação, pois sua ausência acabaria levando as pessoas a votarem contra. De acordo com Maia, Romeiro, Reydon (2004) deve-se também sugerir a opção NÃO SEI no questionário, a pessoa pode estar indiferente entre responder SIM e NÃO, por precisar, por exemplo, de mais tempo para avaliar sua escolha, ter preferência por outro mecanismo de decisão ou estar aborrecido com a pesquisa e ansiosa para encerrá-la com rapidez. Neste sentido, levantamos algumas possibilidades pelo alto número de respostas “NÃO SEI”.

No momento da aplicação dos questionários o Brasil estava passando, entre os anos de 2019 e de 2020, por um período conturbado em sua política pública ambiental, principalmente em relação à preservação do meio ambiente, e com pautas escandalosas (extração de minério em terras indígenas protegidas) propostas pelo presidente da república do Brasil, Jair Bolsonaro. Este efeito sobre o descrédito em relação às questões ambientais no Brasil, levantadas pelo seu governo, tem levado as pessoas a uma condição da não aceitação de dados e informações importantes sobre o meio ambiente, podendo as pessoas que responderam “NÃO SEI” estarem influenciadas por tais falas do atual presidente brasileiro. Alguns estudos já apontam esta

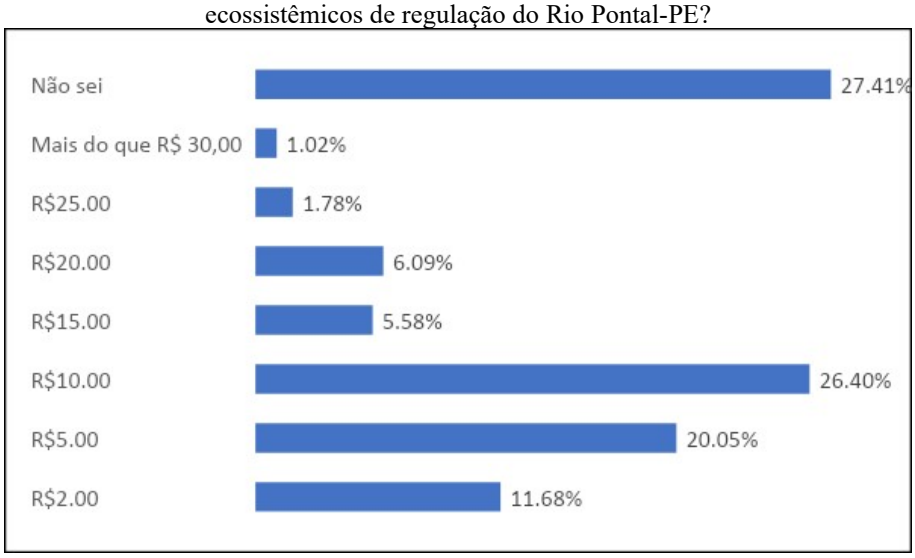
tendência (ABESSA; FAMÁ; BURUAEM, 2019; DE AREA LEÃO PEREIRA et al., 2019; ESCOBAR, 2019; MORELLO et al., 2020).

Figura 31- Você estaria disposto a pagar pela conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação do Rio Pontal-PE?




Fonte: o autor (2019)

Figura 32- Quanto você está disposto a pagar para promover a conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação do Rio Pontal-PE?




Fonte: autor (2019)

O MVC/DAP apontou que programas de conservação da Caatinga podem ser custeados pelas partes interessadas do território até o momento, podendo trazer benefícios para os serviços ecossistêmicos da água na bacia hidrográfica, como mostra estudos já realizados em diferentes regiões semiáridas do mundo (CHAIKAEW; HODGES; GRUNWALD, 2017; CHANG et al., 2017; DAUDA; YACOB; RADAM, 2015; OBENG; AGUILAR, 2018; ROESCH-MCNALLY; RABOTYAGOV, 2016).

As respostas dos entrevistados para a não DAP seguiu um padrão para a negativa do pagamento e os votos de protesto foram o pagamento de muitos tributos ao governo e a não confiabilidade de recursos financeiros nas mãos de agentes públicos. Os entrevistados também

não se sentiram na obrigação da DAP por sinalizarem que a obrigação pelo meio ambiente de um modo geral é obrigação do Estado e não deles.

Respostas semelhantes da não DAP também foram encontradas nos seguintes estudos: Chatterjee et al., 2017; Choi; Lee, 2018; Einarsdóttir; Cook; Davíðsdóttir, 2019; Ferreira; Marques; Seixas, 2017). Contudo, muitos dos que disseram não à DAP foram unânimes em relatar que acham o meio ambiente e a conservação dos serviços ecossistêmicos e de todos os seus recursos importantes.

### 4.5 Análise estatística do coeficiente de Pearson na Bacia do Pontal

Na Tabela 13 são expostos os resultados do teste de coeficiente de Pearson na Bacia do Pontal. É possível observar relações mais generalistas, onde os questionamentos envolvidos são elencados sobre a idade, sexo, acesso à escola e escolaridade e renda. Os questionamentos específicos foram associados à Disposição a Pagar (DAP), percepção dos Serviços Ecossistêmicos de regulação da água na bacia, regulação do microclima local, regulação da água (em relação à vazão), regulação de inundações e erosão, acerca da purificação da água e retenção de sedimentos.

Observa-se as correlações apresentando-se nos intervalos fortes, neutros e fracos, tanto para o positivo ou o negativo. As respostas e as percepções dos entrevistados sobre a Caatinga e o semiárido, suas potencialidades e seu cenário atual foram fatores chaves para as possíveis justificativas para tais resultados. Para fins de considerações, entende-se como uma correlação fraca positiva um Pearson alcançando de até 0,5, onde numerações acima serão consideradas fortes; o inverso é verdadeiro, isto é, correlações negativas fortes ou fracas terão o mesmo intervalo negativo para a nomenclatura.

Tabela 13 – Teste de coeficiente de Pearson na Bacia do Pontal-PE

| Correlações | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | idade | Sexo | Onde reside | escolar | renda | DAP | Percepção Entrevista | Regulação Clima | Regulação Água | Regulação Inundações | Purificação Água | Retenção Sedimentos | Todos |
| **Idade** | 1 | ,224** | -,397** | -.034 | ,541** | .044 | ,142** | -.019 | -.050 | -.030 | -.059 | -.063 | -.058 |
| **Sexo** | ,224** | 1 | -,255** | .052 | ,121* | -,100* | -,121* | -,113* | .075 | ,123* | .060 | .093 | .061 |
| **Escolar** | -.034 | .052 | -,112* | 1 | ,340** | -.008 | .071 | .064 | -.045 | -.033 | -.014 | -.022 | -.023 |
| **Renda** | ,541** | ,121* | -,310** | ,340** | 1 | .076 | ,186** | .007 | -.028 | .020 | -.006 | -.024 | -.029 |
| **DAP (sim/não)** | .044 | -,100* | -.021 | -.008 | .076 | 1 | ,748** | ,529** | -,422** | -,406** | -,341** | -,396** | -,332** |
| **Percepção dos S.E de Regulação da Água na Bacia** | ,142** | -,121* | -,101* | .071 | ,186** | ,748** | 1 | ,513** | -,391** | -,380** | -,352** | -,340** | -,325** |
| **Regulação do Microclima** | -.019 | -,113* | -.022 | .064 | .007 | ,529** | ,513** | 1 | -,848** | -,826** | -,683** | -,752** | -,654** |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Regulação da Água (vazão)** | | -.050 | .075 | ,103* | -.045 | -.028 | -,422** | -,391** | -,848** | 1 | ,858** | ,766** | ,817** | ,758** |
| **Regulação de Inundaçõe s e Erosão** | | -.030 | ,123* | .045 | -.033 | .020 | -,406** | -,380** | -,826** | ,858** | 1 | ,819** | ,808** | ,754** |
| **Purificaçã o da Água** | | -.059 | .060 | ,118* | -.014 | -.006 | -,341** | -,352** | -,683** | ,766** | ,819** | 1 | ,775** | ,871** |
| **Retenção de Sedimento s** | | -.063 | .093 | ,108* | -.022 | -.024 | -,396** | -,340** | -,752** | ,817** | ,808** | ,775** | 1 | ,833** |
| **Todos os S.E Citados** | | -.058 | .061 | .092 | -.023 | -.029 | -,332** | -,325** | -,654** | ,758** | ,754** | ,871** | ,833** | 1 |
| **. A correlação é significativa ao nível 0,01 (2-tailed). | | | | | | | | | | | | | | |
| *. A correlação é significativa ao nível 0,05 (2-tailed). | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: o autor (2022)

Sobre os questionamentos gerais, o único que manteve uma relação positiva forte entre perguntas foi a idade dos entrevistados e sua renda (r = 0,54), confirmando que quanto maior (ou menor) a idade dos entrevistados, maior (ou menor) foram as rendas registradas. Outros fatores podem ser levantados como importantes para investigação, como a relação renda dos entrevistados e acesso à educação (r = 0,34) e a disposição territorial e a renda (r = -0,31), com relações fracas positivas e negativas, respectivamente, o que tende a demonstrar que o acesso à educação pode influenciar na melhoria de salários, como também a moradia e sua localização como motivo segregador. Ademais, outras variáveis generalistas mantiveram correlações neutras (intervalo r =< 0,2; =< -0,2). Os estudos de Teramatsu (2014), Oliveira e Saraiva (2015) e Moura e Pereira (2021) são pesquisas que investigaram a educação enquanto as relações supracitadas, onde constataram que historicamente o acesso à educação no Brasil se deu nos grandes centros urbanos e as condições sociais e de vulnerabilidade, sejam econômicas ou territoriais (dentro das áreas urbanas) são características que diferenciam a entrada e a manutenção do indivíduo no ensino, sejam eles secundaristas ou no superior.

Entendendo que o Meio Ambiente é importante e suas conexões sobre a população são existentes, observa-se uma correlação positiva acerca da Disposição a Pagar (DAP) e os Serviços Ecossistêmicos de Regulação da Água na bacia do Pontal (r = 0,75), e na Regulação Climática (r = 0,52), estando estes disponíveis a pagar uma quantia para manutenção e expansão de espaços naturais, podendo estes estarem no intervalo da moda de R$ 2,00 a R$ 10,00 reais (Figura 32). É importante ressaltar que a Disposição a Pagar (DAP) não reflete positivamente para regulações em condições específicas, tais como a da Água (vazão) (r = -0,42), Inundações e erosão (r = -0,40), Purificação (r = -0,35) e Sedimentos (r = -0,34). Araújo e Maia (2020), analisando a DAP para os recursos hídricos em uma região semiárida do Rio Grande do Norte, observaram que a população está disposta a pagar para preservação uma quantia aproximada a R$ 20,00, visando, sobretudo, a conservação e a utilização dos recursos no âmbito econômico (ARAÚJO et al., 2018). Em outro estudo sobre Disposição a Pagar, Silva et al. (2004) analisaram a percepção sobre a água dessalinizada em uma população semiárida, onde o valor da moda de R$ 7,85 foi o encontrado como mais acessível, devido às condições dos moradores em relação à questão socioeconômica.

Uma forte correlação negativa é observada no que tange ao aspecto da Regulação do Clima e os outros questionamentos no geral. Mesmo tendo relação positiva com a Disposição a Pagar, nota-se correlações negativas fortes frente à Regulação de Água (r = -0,85), Inundações (r = -0,82), Purificação (r = -0,68) e Sedimentos (r = -0,75). A justificativa para essas relações negativas fortes está concomitante ao fato de o clima semiárido estar em predominância seco e

quente, ausente de inundações e mecanismos de purificação e/ou retenção sedimentar, não agregando, desta forma, credibilidade por parte dos entrevistados em manter uma relação de fato com aspectos microclimáticos, ou que reflita a pensamentos sobre esse. O estudo de percepção conduzido por Diniz et al. (2019) apresentou considerações sobre o universo da pesquisa no semiárido e suas relações, nos quais mesmo estando em regiões urbanas, a população tem laços estreitos com agricultores ou o território semiárido propriamente dito, o que revela não somente a presença das ausências dos questionamentos atrelados ao cotidiano, como também a utilização da Caatinga como meio de sobrevivência econômica (BROTEL et al., 2006).

Regulações em específico, como a da Água, Inundações e Erosão, Purificação da Água e Retenção de Sedimentos mantêm correlações fortes positivas entre elas ($r >= 0,75$). Os valores superiores positivos podem ser justificados pelo entendimento integrativo das condições edafoclimáticas da região e as necessidades de suas manutenções como um todo. Diferentes pesquisas apresentam a relevância da integração hídrica sobre a região semiárida, nas quais, Azevedo (2012) e Silva et al. (2019) demonstram como os Comitês de Bacias Hidrográficas podem se tornar mecanismos ímpares de gestão das águas em locais onde esse recurso deve ser e ter justiça social e sustentabilidade em seu manejo, uma vez que o uso em agriculturas de subsistência, abastecimento e irrigação são notados em geral.

Silva Santos et al. (2020) apresentam as condições semiáridas sobre os recursos hídricos, onde os longos períodos de secas e a urgência em produzir fontes alimentícias e econômicas fazem a população utilizar-se de fontes hídricas de baixa qualidade. As nascentes, o reuso e uma eficiente Gestão Ambiental podem ser alternativas para a melhoria da qualidade hídrica e de seu entorno, muitas vezes degradado por intermédio de sedimentos, processos erosivos e poluição (SILVA, 2016; SILVA SANTOS et al., 2020). Correia et al. (2019) trazem a cobertura vegetal ciliar como fator importante de perenidade hídrica no semiárido, em que ao conservá-la, em concomitante se conserva a fauna, a flora, dos processos erosivos e da perda das propriedades de retenção de água, demonstrando, desta forma, o que é notado nas correlações positivas fortes dos questionamentos anteriormente alvo de entrevista.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da modelagem dos dados de vazão da Bacia do Riacho do Pontal-PE verificou-se que a área estudada possui um alto índice de secura ao longo do ano. Os resultados acerca da deste fenômeno chama a atenção, pois, dados da literatura demonstram existir implicações da variabilidade e mudança climática nos recursos hídricos: uma maior variância implica na necessidade de maior resiliência da questão de conservação dos serviços ecossistêmicos na bacia para melhor regular os ciclos hidrológicos. Portanto, a modelagem hidrológica através do SUPer demonstra que se pode analisar áreas com suscetibilidade para os SE.

A evapotranspiração, através do SUPer, evidenciou a diferença entre as sub-bacias pertencentes à bacia do Pontal, e esses dados, que denotam uma alta evapotranspiração, indicam que as áreas vegetadas necessitam de água em grande quantidade para que as plantas consigam realizar seus processos metabólicos sem prejuízo para seu desenvolvimento e assim gerar muitos serviços ecossistêmicos.

O Método de Valoração Contingente (MVC), embora possa apresentar algumas limitações, mostrou-se ser uma ferramenta prática na elucidação do valor econômico para valorar os serviços de regulação de água na bacia do Pontal. Dessa forma, observou-se que essa técnica é uma ferramenta que pode ser útil para auxiliar na formulação de políticas públicas como a do PEPSA, a fim de justificar investimentos em medidas e programas de conservação ambiental em Pernambuco.

Com a avaliação de variáveis quantitativas utilizadas nos programas estatísticos, identificou-se a percepção ambiental e as principais variáveis determinantes das disposições a pagar da população inserida na bacia do Pontal. Nesse sentido, foi possível identificar a DAP no valor da moda que foi de 10,00 Reais, como também a percepção de vários serviços ecossistêmicos de regulação presentes na bacia.

Em relação à análise da estrutura fundiária apresentada na bacia do Pontal, percebe-se que a bacia possui um perfil fundiário concentrador. Quando calculado o índice de Gini da Bacia, apontasse que neste território o índice é forte e concentrador. Fica claro, neste estudo, que quanto mais próximo dos perímetros irrigados estes territórios estão se expressa um índice relativamente mais elevado no MF, contemplando, assim, uma classificação para a concentração de terras de média a muito forte. Embora a análise histórica seja um dos pilares para compreender a formação da propriedade rural brasileira, neste trabalho focou-se na atividade econômica como viés de análise. Percebeu-se que atividades como fruticultura (plantio permanente) apresentaram maior participação em Petrolina e Lagoa Grande, onde há

concentração de terras forte, por outro lado, nos territórios de Dormentes e Afrânio estão com média concentração de terras expressivas, respectivamente, a participação de atividades agrícolas envolvendo culturas temporárias foi mais significativa. Em vista de reflexão sobre políticas públicas ambientais em relação ao PEPSA no Estado de Pernambuco, a proposta aqui concebida pode auxiliar no monitoramento e avaliação do chamado Programa Estadual de Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PEPSA), um mecanismo econômico de Política Ambiental que vem tendo grande adesão entre os atores políticos. Ao exibir a elaboração de cenários e a avaliação da trajetória dos serviços ecossistêmicos, a modelagem hidrológica e a valoração ambiental, podem contribuir apontando benefícios ou prejuízos em relação aos serviços ecossistêmicos.

Por fim, as avaliações feitas (modelagem hidrológica e valoração ambiental) deste estudo aplicadas na bacia, se apresenta como uma ferramenta de planejamento e gestão de bacias hidrográficas a ser utilizada para elaboração de PEPSA em outras áreas do Estado de Pernambuco, visto que essas técnicas podem trazer respostas eficazes para a gestão ambiental pública na política de PSA , e a definição de estratégias de ação e desenvolvimento de programas que possibilitem a conservação e recuperação ambiental dentro da legislação estadual de PSA.

# REFERÊNCIAS

ABBASI, Y; MANNAERTS, C. M.; MAKAU, W. Modeling pesticide and sediment transport in the Malewa River Basin (Kenya) using SWAT. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 1, 2019.

ABBASPOUR, K. C.; JOHNSON, C. A.; VAN GENUCHTEN, M. Th. Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 3, n. 4, p. 1340, 2004.

ABESSA, D.; FAMÁ, A.; BURUAEM, L. The systematic dismantling of Brazilian environmental laws risks losses on all fronts. **Nature Ecology and Evolution**, 2019.

AB'SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos Avançados**, 13(36), 7–59, 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (**ANA**). Manual Operativo do Programa Produtor de Águas.Disponívelem:http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Manual%20Operativo%20Vers%C3%A3o%202012%20%2001_10_12.pdf Acesso em: 05 de nov de 2014.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (**APAC**). Relatório de situação de recursos hídricos do Estado de Pernambuco 2011/2012. Recife: Apac, 2013.

AHAMMAD, R.; STACEY, N.; SUNDERLAND, T. C. H. Use and perceived importance of forest ecosystem services in rural livelihoods of Chittagong Hill Tracts, Bangladesh. **Ecosystem Services**, v. 35, n. November 2018, p. 87–98, 2019.

AICHNER, T.; FORZA, C.; TRENTIN, A. The country-of-origin lie impact of foreign branding on customers' willingness to buy and willingness to pay when the product's actual origin is disclosed. **International Review of Retail, Distribution and Consumer Research**, v. 27, n. 1, p. 43–60, 2017.

ALBERGARIA, E. T. D., SILVA, M. V. D., & SILVA, A. G. D. Levantamento etnobotânico de plantas medicinais em comunidades rurais localizadas na Unidade de Conservação Tatu-Bola, município de Lagoa Grande, PE-Brasil. **Revista Fitos**. 13(2): 137-154, 2019.

ALBUQUERQUE, U. P.; ARAUJO, E. L.; EL-DEIR, A. C. A. et al. Caatinga Revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. **The Scientific World Journal**, p. 1-18, 2012.

ALCANTARA, J. L. F; FONTES, R. M. O. A formação da propriedade e a concentração de terras no Brasil. **Revista de História Econômica & Economia Regional Aplicada**. Vol. 4 Nº 7, 2009.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO**, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALVES, E.; SOUZA, G. da S. O semiárido segundo o Censo Agropecuário 2006 e os Censos de população 1991, 2000 e 2010. **Revista de Políticas Agrícola**. n.1, 2015.

AMANTINO, M; CARDOSO, V. M. Ocupação e estrutura fundiária em Macacu e Guapiaçu: a família Muros no século XVII. **Dimensões**, n. 47, p. 187-204, 2021.

AMORIM, I. L. DE; SAMPAIO, E. V. DE S. B.; ARAÚJO, E. DE L. Fenologia de espécies lenhosas da caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 491–499, jun. 2009.

PLIENINGER, T., DIJKS, S., OTEROS-ROZAS, E., & BIELING, C. Assessing, mapping and quantifying cultural ecosystem services at the community level. **Land use policy**, 33, 118-129, 2013.

ANDRADE, D.C.; ROMEIRO, A.R. **Serviços Ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano**. IE/UNICAMP, N. 155, fev. 2009.

ANDRADE, M. C. de. **Espaço agrário brasileiro:** velhas formas, novas funções, novas formas, velhas funções. In: Geousp, São Paulo, n.12, p. 11-19, 2002.

ARAÚJO, A. B. A.; MAIA, C. E.; DE ARAÚJO, I. T. Disposição a pagar pela recuperação/preservação do Rio Apodi-Mossoró. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 297-313, 2018.

ARAÚJO, A. B. A.; MAIA, C. E. Valor ambiental na perspectiva econômica em recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 12813-12826, 2020.

ARAÚJO, A. B. A. de. Disposal for paying for the recovery/preservation of Apodi- Mossoró river. **Dissertação** (Mestrado em Estratégias sustentáveis de desenvolvimento do Semiárido) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 83 f., 2014.

ARIAS-ARÉVALO, P., MARTÍN-LÓPEZ, B., & GÓMEZ-BAGGETHUN, E. Exploring intrinsic, instrumental and relational values for the sustainable management of social-ecological systems. **Ecology and Society**, 22, 2017.

ARNOLD, J. G.; MUTTIAH, R. S.; SRINIVASAN, R.; ALLEN, P.M. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. **Journal of Hydrology**, v. 227, p. 21–40, 2000.

ARNOLD, J. G. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73–89, fev. 1998.

ARNOLD, J. G. SRINIVASAN.R; MUTTIAH R.S; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part i: model development' basin scale model called SWAT (Soil and Water speed and storage, advanced software debugging policy to meet the needs, and the management to the tank model. 1. v. 34, n. 1, p. 73–89, 1998.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. Análise climática da precipitação no submédio da bacia do rio São Francisco a partir do índice de anomalia de chuva. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 36, n. 6, p. 188-202, 2015.

AZEVEDO, D. C. F. Água: Importância e gestão no semiárido nordestino. **POLÊMICA**, v. 11, n. 1, p. 74-81, 2012.

BARBIER, E. B.; CZAJKOWSKI, M.; HANLEY, N. Is the Income Elasticity of the Willingness to Pay for Pollution Control Constant? **Environmental and Resource Economics**, v. 68, n. 3, p. 663–682, 2017.

BARCELLOS, R.R.; JAMAS, L.T.; MENOZZI, B.D.; LANGONI, H. Agricultura familiar e sanidade animal. **RVZ [Internet]**, 26:1-9, 2019.

BARROS, E. DA R. Arranjos socioprodutivos da agricultura familiar e adaptação a uma dinâmica territorial de desenvolvimento: o caso dos perímetros de irrigação no Vale do São Francisco, semiárido brasileiro. **Tese** (Doutorado) – UFSC, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas, 2007.

BERG, H.; EKMAN SÖDERHOLM, A.; SÖDERSTRÖM, A. S.; TAM, N. T. Recognizing wetland ecosystem services for sustainable rice farming in the Mekong Delta, Vietnam. **Sustainability Science**, v. 12, n. 1, p. 137–154, 2017.

BERTONI, D.; SARTI, G.; ALQUINI, F.; CICCARELLI, D. Implementing a coastal dune vulnerability index (CDVI) to support coastal management in different settings (Brazil and Italy). **Ocean & Coastal Management**, v. 180, n. April, p. 104916, 2019.

BISHOP, K. C.; TIMMINS, C. Estimating the marginal willingness to pay function without instrumental variables. **Journal of Urban Economics**, v. 109, n. July 2018, p. 66–83, 2019.

BLANCO, J.; SOURDRIL, A.; DECONCHAT, M.; BARNAUD, C.; SAN CRISTOBAL, M.; ANDRIEU, E. How farmers feel about trees: Perceptions of ecosystem services and disservices associated with rural forests in southwestern France. **Ecosystem Services**,v. 42, 2020.

BLUNDO-CANTO, G.; BAX, V.; QUINTERO, M.; CRUZ-GARCIA, G. S.; ROENEVELD, R.; PEREZ-MARULANDA, L. The Different Dimensions of Livelihood Impacts of Payments for Environmental Services (PES) Schemes: A Systematic Review. **Ecological Economics**, v. 149, n. March, p. 160–183, 2018.

BOLDRINI, J. L., COSTA, S. I. R., FIGUEIREDO, V. L., E WETZLER, H. G. **Álgebra Linear**. Editora Harbra Ltda., 3ª edição, 1986.

BÖRGER, T.; BOHNKE-HENRICHS, A.; HATTAM, C.; PIWOWARCZYK; J.; SCHASFOORT; F.; AUSTEN; C. M. The role of interdisciplinary collaboration for stated preference methods to value marine environmental goods and ecosystem services. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 201, p. 140–151, 2018.

BOUMANS, R.; ROMAN, J.; ALTMAN, I.; KAUFMAN, L. The multiscale integrated model of ecosystem services (MIMES): Simulating the interactions of coupled human and natural systems. **Ecosystem Services**, v. 12, p. 30–41, 2015.

BRASIL. **Diário Oficial da União**. Lei de n° 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais e dá outras providências. Brasília-DF. 7p. 2021.

BRASIL. Lei nº 6.746, de 10 de dezembro de 1979. Altera o disposto nos artigos 49 e 50 da Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964 (Estatuto da Terra), e dá outras providências. **Diário Oficial** [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p. 18673, 11 dez. Seção 1, 1979.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF – **A Lei de Concessão & Parceria Público Privada – PPP no Setor da Irrigação,** 2013.

BRASIL. **MINISTÉRIO DO MEIO AMBENTE**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/economia-verde/instrumentos-econ%C3%B4micos>. Acesso em: 22 set. 2021.

BRESSIANI, D. DE A. Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 1–27, 2015.

BROTEL, R. T.; RODRIGUES, L. A.; GOMES, L. J.; CARVALHO, D. A. de; FONTES, M. A. L. Uso da vegetação nativa pela população local no município de Ingaí, MG, Brasil. **Acta botânica brasilica**. v. 20, n. 1, p. 143-156, 2006.

BUSTAMANTE, P. M. A. C. A fruticultura no Brasil e no Vale do São Francisco: Vantagens e Desafios. **Revista econômica do Nordeste**. v. 40, n. 01. 2009.

CADASTRO AMBIENTAL RURAL. (2021). **Sicar – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural.** Módulo de Consulta Pública. http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index acesso em 15 de mar. de 2021.

CÂMARA, L. A concentração da propriedade agrária no Brasil. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, V.7, nº. 77, p. 37 - 58, 1949.

CAMARGO, P. L. T. de. Valoração ambiental da Cachoeira da Serrinha (Parque Estadual do Itacolomi) Mariana/MG. **Dissertação** (Mestrado em Sustentabilidade) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, p.94, 2014.

CAMELO FILHO, J. V. A dinâmica política, econômica e social do rio São Francisco e do seu vale. **Revista Do Departamento De Geografia**, 17, 83-93, 2011.

CAMPBELL, M. L., PETERS, L., MCMAINS, C., DE CAMPOS, M. C. R., SARGISSON, R. J., BLACKWELL, B., & HEWITT, C. L. Are our beaches safe? Quantifying the human health impact of anthropogenic beach litter on people in New Zealand. **Science of The Total Environment**, 651, 2400–2409, 2019.

CAMPOS, F. S.; GOIS, G. C.; VICENTE, S. L. A.; MACEDO, A.; MATIAS, A. G. S. Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. **Nutritime Revista Eletrônica**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 5004-5013, 2017.

CAMPOS, M. C. C. RIBEIRO, M. R. SOUZA JÚNIOR, V.S. RIBEIRO FILHO, M.R. ALMEIDA, M.C. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazonica**. 42:387-98, 2012.

CANOVA, M. A.; LAPOLA, M. D.; PINHO, P.; DICK, J.; PATRICIO, B. G.; PRIESS, A. J. Different ecosystem services, same (dis)satisfaction with compensation: A critical comparison between farmers' perception in Scotland and Brazil. **Ecosystem Services**, v. 35, n. October 2018, p. 164–172, 2019.

CARVALHO, R. G. A Turismo em lagoas costeiras e a valoração ambiental em Osório, Rio Grande do Sul. **Dissertação** (Mestrado em Turismo e Hospitalidade). Universidade de Caxias do Sul – RS, 143p, 2016.

CARVALHO NETO, J. G. de. Modelagem e valoração de serviço ambiental hidrológico na bacia hidrográfica do rio Una – Pernambuco / José Guimarães de Carvalho Neto. - Recife**,** **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 205 f, 2018.

CASTRO, A. J.; MARTÍN-LÓPEZ, B.; GARCÍA-LLORENTE, M.; AGUILERA, A.; LÓPEZ, E.; CABELLO, J. Social preferences regarding the delivery of ecosystem services in a semiarid Mediterranean region. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 11, p. 1201–1208, 2011.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinidade do solo e risco de desertificação na região Semiárida, **Mercator**, v.19, e19002, 2020.

CAVALCANTE, R., J.; FREITAS, M.; DA SILVA, N.; DE AZEVEDO FILHO, F. Sustainable Groundwater Exploitation Aiming at the Reduction of Water Vulnerability in the Brazilian Semi-Arid Region. **Energies**, v. 12, p. 904 – 920, 2019.

CHAIKAEW, P.; HODGES, A. W.; GRUNWALD, S. Estimating the value of ecosystem services in a mixed-use watershed: A choice experiment approach. **Ecosystem Services**, 2017.

CHANG, S. H. E; BENJAMIN, E. O; SAUER, J. The role of rice farmers' attitude and trust in government in deciding to participate in a climate-related agro-environmental scheme. **Journal of Environmental Planning and Management**, p. 1-22, 2023.

CHATTERJEE, C.; TRIPLETT, R.; JOHNSON C. K.; AHMED P. Willingness to pay for safe drinking water: A contingent valuation study in Jacksonville, FL. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 413–421, 2017.

CHAVES, A. M. S., VIEIRA, A. G. T., DE FRANÇA, E. M. S., DOS SANTOS, E. J., TEIXEIRA, G. D. S. S., DOS SANTOS SILVA, J. I., & SOUZA, R. M. Análise dos serviços ecossistêmicos na paisagem semiárida a Bacia do Riacho São José em Pernambuco. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, 12(1), 139-158, 2021.

CHAVES, E. J. Curvas funcionales de Lorenz: Análisis datual e inferencias. **Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y administrativas**. Universidad de Nariño, 2009.

CHIODI, R. E., PINTO, S. M., & UEZU, A. A governança nexo água, energia e alimentos e os espaços públicos de participação social: um estudo aplicado ao contexto do Sistema Produtor de Água Cantareira. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Vol. 58, p. 40-62, 2021.

CHOI, E. C.; LEE, J. S. The willingness to pay for removing the microplastics in the ocean – The case of Seoul metropolitan area, South Korea. **Marine Policy**, v. 93, n. April, p. 93–100, 2018.

CODEVASF. **Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte. Projetec**. Volume 1, estudos preliminares, Brasil, 2007.

CODEVASF. **Mapeamento temático de uso da terra no Submédio São Francisco**. (Subprojeto 2.1). JUNQUEIRA, R.A.C. (coordenador). In: Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA. Brasília. 65p., 2000.

CODEVASF. **Projetos Públicos de Irrigação**, 2019. Disponível em < https://www.codevasf.gov.br/linhas-denegocio/irrigacao/projetos-publicos-deirrigacao>. Acesso em: 25 abr. 2022.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Codevasf realiza Cadastro Ambiental Rural de perímetros públicos em Pernambuco**. (2016). Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2016/codevasf-realiza-cadastro-ambiental-rural-de-perimetros-publicos-em-pernambuco>. Acesso em: 07 de abr. 2022.

COELHO, N. R.; GOMEZ, A. S.; CASSANO C. R.; PRADO, R. B. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental,** 26 (3) mai-jun, 2021.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). Balanço 2017, 2017.Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/fruticultura_balanco_2017.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2022.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE (CNS - Brasil). Resolução N° 466, de 12 de dezembro de 2012 Brasília, 2012. Acesso em: set. 2019.

CONTI, J. B. A Questão Climática do Nordeste Brasileiro e os Processos De Desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, 1(1), 7–14, 2005.

COOPER, N.; BRADY, E.; STEEN, H.; BRYCE, R. Aesthetic and spiritual values of ecosystems: Recognising the ontological and axiological plurality of cultural ecosystem 'services. **Ecosystem Services**, v. 21, n. December 2015, p. 218–229, 2016.

CORREIA, I. M. G.; SOUZA, B. H. de; MOURA, D. C.; SOUZA, Y. G. de. Mata ciliar, conservação e sustentabilidade, fundamentos da importância para o semiárido paraibano: estudo de caso no alto curso do Rio Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 41–60, 2019.

COSTA, M. L. Valoração econômica do serviço de provisão de água na Bacia do Rio Cassiporé, no Estado do Amapá. **Dissertação** (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) - Universidade de Brasília, Brasília, 96 f., 2016.

COSTANZA, R. **Ecosystem services: Multiple classification systems are neededBiological Conservation**, 2008.

DALY, H.; FARLEY, J. **Economia ecológica: principios e aplicações.** Lisboa: Instituto Piaget, 2004.

DANIEL, T. C; MUHAR, A.; ARNBERGER, A.; AZNAR, O.; BOYD, J.W.; CHAN, K.; COSTANZA, R.; ELMQVIST, T.; FLINT, C.G.; GOBSTER, P.H.; GRET- REGAMEY, A.; LAVE, R.; MUHAR, S.; PENKER, H.; RIBE, R.G.; SCHAUPPENLEHNER, T.; SIKOR, T.; SOLOVIY, M.; SPIERENBURG, M.; TACZANOWSKA, K.; TAM, J.; VON DER DUNK, A. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. **Annals of the National Academy of Sciences**. v. 109, n. 23, 2012.

DA SILVA SANTOS, A. et al. Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 3, 2020.

DAUDA, S. A.; YACOB, M. R.; RADAM, A. Household's willingness to pay for heterogeneous attributes of drinking water quality and services improvement: anapplication of choice experiment. **Applied Water Science**, 2015.

DE AREA LEÃO PEREIRA, E. J.; FERREIRA, P. J. S.; RIBEIRO, L. C DE S.; CARVALHO, T. S.; PEREIRA, H. B DE B. Policy in Brazil (2016–2019) threaten conservation of the Amazon rainforest. **Environmental Science and Policy**, 2019.

DE GROOT, R.S.; ALKEMADE, R.; BRAAT, L.; HEIN, L.; WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological Complexity**, v.7, p.260–272, 2010.

DE GROOT, R. S. DE; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. **Typology es**. v. 41, p. 393–408, 2002.

DE GROOT, Rudolf. Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. **Landscape and Urban Planning**, 2006.

DERY, J. L.; ROCK, C. M.; GOLDSTEIN, R. Ro; ONUMAJURU, C; BRASSILL, N; ZOZAYA, S; SURI, M. R. Understanding grower perceptions and attitudes on the use of nontraditional water sources, including reclaimed or recycled water, in the semi-arid Southwest United States. **Environmental Research**, *[S. l.]*, v. 170, n. July 2018, p. 500– 509, 2019.

DE VALCK, J., ROLFE, J. Comparing biodiversity valuation approaches for the sustainable management of the Great Barrier Reef, Australia. **Ecosystem Services**. V. 35, 2019, p. 23-31, 2019.

DIAS, J. V. Transformações da grande propriedade rural e do sistema de moradia no sertão paraibano: entre velhas estruturas de dominação e novos contornos de resistência. 2019. 72 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Sociais) – Programa de Pós-graduação em Ciências, Sociais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

DÍAZ S., PASCUAL U., STENSEKE M., MARTÍN-LÓPEZ B., WATSON R. T., MOLNÁR Z. HILL R., SHIRAYAMA Y. **Assessing nature's contributions to people.** *Science*, *359*(6373), 270–272, 2018.

DINIZ, A. F. Estudo da variabilidade da pluviosidade (1994-2010) no município de Feira de Santana (Bahia) e seus reflexos na agricultura de sequeiros: o caso do milho. **Dissertação** (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Geografia de Universidade Federal da Bahia, Salvador, 114 f, 2012.

DINIZ, F. C.; DE MORAIS RODRIGUES, E.; DE FARIA LOPES, S.; XAVIER, R. A. (2019). PERCEPÇÃO AMBIENTAL DE ALUNOS DO ENSINO MÉDIO EM RELAÇÃO AO USO E VULNERABILIDADE DA CAATINGA NO CARIRI PARAIBANO, SEMIÁRIDO NORDESTINO. **Revista Geotemas**, 9(1), 107-127.

DIXON, J. A.; SHERMAN, P. B. **Economics of protected areas: a new look at benefits and costs**. Washington: Island Press, 1990.

EINARSDÓTTIR, S. R.; COOK, D.; DAVÍÐSDÓTTIR, B. The contingent valuation study of the wind farm Búrfellslundur - Willingness to pay for preservation. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 795–802, 2019.

EIRAS, M. M. Valoração econômica do potencial hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi como insumo na produção de água potável. **Dissertação** (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Campus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, p. 79, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (**EMBRAPA**). Marco referencial em serviços ecossistêmicos / Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, p. 160, 2019.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics,** v. 65, p. 663-674, 2008.

ENRIQUEZ-ACEVEDO, T. et al. Willingness to pay for Beach Ecosystem Services: The case study of three Colombian beaches. **Ocean and Coastal Management**, v. 161, n. May, p. 96–104, 2018.

ESCOBAR, H. Brazilian president attacks deforestation data**. Science,** 365 (6452), 419, 2019.

FAGUNDES, F. N; BORGES, A. C. G. "Estrutura fundiária e configuração agropecuária do município de São João da Boa Vista-SP". IN: 4ª Jornada Científica da Geografia UNIFAL-MG. **Anais**..., Alfenas, 2016.

FAN, M.; OU, W.; CHEN, L. Spatial priority areas for individual and multiple hydrological ecosystem services with economic costs across teshio watershed, northernmost of Japan. **Global Ecology and Conservation**, v. 20, n. 59, p. e00746, 2019.

FAO. **Sustentar os meios de subsistência através da conservação dos recursos genéticos de animais**. 2003. Leituras Chave by Simon Anderson. Disponível em: <https://www.fao.org/3/y5956p/Y5956P08.htm>. Acesso em: 10/11/2021.
FARBER, S., R. COSTANZA, D. CHILDERS, J. ERICKSON, K. GROSS, M. GROVE, C.S. HOPKINSON, J. KAHN, S. PINCETL, A. TROY, P. WARREN, AND M. WILSON. Linking ecology and economics for ecosystem management. **Bioscience**. P. 121-133, 2006.

FAUCHEUX, S.; NOËL, J. F. **Economia dos recursos naturais e do meio ambiente**. Lisboa: Ed. Piaget, 1995.

FERREIRA, A. M.; MARQUES, J. C.; SEIXAS, S. Integrating marine ecosystem conservation and ecosystems services economic valuation: Implications for coastal zones governance. **Ecological Indicators**, v. 77, p. 114–122, 2017.

FERREIRA, J. C. Valoração ambiental da bacia do Rio Bagagem sob a óptica dos munícipes da cidade de Iraí de Minas – MG. **Dissertação** (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 70, 2017.

FERREIRA, P. S; SANTOS, M. A.; FERREIRA, J. M.S.; FERREIRA, H. S.; GALVÍCIO, J. D. Análise da suscetibilidade a desertificação na bacia hidrográfica do rio pontal – Pernambuco - Brasil. **Investigaciones Geográficas***,* v. 53, p. 37-50, 2017.

FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, 2009.

FORLEO, M. B.; ROMAGNOLI, L.; PALMIERI, N. Environmental values and willingness to pay for a protected area: a segmentation of Italian university students. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, v. 26, n. 1, p. 45–56, 2019.

FURLAN, M. A função promocional do direito no panorama das mudanças climáticas: a idéia de pagamento por serviços ambientais e o princípio do protetor-recebedor. 2008. 296 f. **Tese** (Doutorado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2008.

FURTADO, C. **Análise do "modelo" brasileiro**. 3. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1972.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil.** 32. ed. São Paulo: Nacional, 2005.

FLOTEMERSCH, J.E.; LEIBOWITZ, S.G.; HILL, R.A.; STODDARD, J.L.; THOMS, M.C.; THARME, R.E. A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. **River Research and Applications**. 32: 1654–1671, 2016.

FRANÇA, L. M. A. ; Miranda, R. Q.; Costa, V. S. O; GALVÍNCIO, J. D. . Análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú (Pernambuco) com o produto MODIS MCD12Q1. Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto, v. 1, p. 11-27, 2020.

FRANÇA, L. M. de A. Análise de uma bacia hidrográfica em área semiárida: relações entre seca, agricultura e os objetivos para o desenvolvimento sustentável. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 224 f. 2021.

FREEMAN, R.; LIANG, W.; SONG, R.; TIMMINS, C. Willingness to pay for clean air in China. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 94, p. 188–216, 2019.
FRIZZO, P. GARCIA, D. S. Os incentivos fiscais e o princípio do protetor-recebedor. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 8, n. 1, 2022.

GALVÍNCIO, J, D. Relation of leaf water content with real evapotranspiration and biomass in Caatinga biome, using remote sensing data. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.10, n.05, 1545-155, 2017.

GALVÍNCIO, J. D.; BADARAU, M. S.; BARBOSA, V. V.; FREIRE, M. B. G. S.; SOUZA, W. M. Avaliação do estágio de regeneração do bioma caatinga na microrregião do Araripe, com sensoriamento remoto. **Revista brasileira de geografia física**, v. 9, p. 985-996, 2016.

GALVÍNCIO, J. D.; BRITO, P. V. S. ; SANTOS, T. ; MIRANDA, R. Q. ; MOURA, M. S. B. . Application of the SUPer system for the basins of Pontal and Brígida in the state of Pernambuco, Brazil. In: **International SWAT Conference**, 2018, Bruxelas. SWAT 2018 - Book of abstracts, p. 86, 2018.

GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; RIBEIRO, J. G. Análise fisiográfica e da dinâmica da bacia hidrográfica do Rio Pontal - PE. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2006, Gravatá. **Anais**... Gravata: ABRH, 2006.

GALVINCIO, J. D. Impacto do aumento de CO2 nas Precipitações do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 14 n. 03, p. 1828-1839, 2021.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6ª ed. 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2009.

GOMES, A. S.; DANTAS NETO, J.; SILVA, V. F. Serviços Ecossistêmicos: Conceitos e Classificação. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 9, p. 12-23, 2018.

GOMES, A. S. Mapeamento e valoração de bens e serviços ecossistêmicos no semiárido brasileiro. **Dissertação** (mestrado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, p. 86, 2019.

GOSSENHEIMER, I. C.; TURATTI, L. Pagamento por Serviços Ambientais como instrumento econômico de incentivo à agroecologia. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 11, n. 2, p. 8-26, 2021.

GOVENDER, M.; CHETTY, K.; BULCOCK, H. A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. **Water SA**, v. 33, n. 2, p. 145–151, 2009.

GUIMARÃES, A. P. **Quatro séculos de latifúndio**. 6. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra. 1989.

GUNKEL, G. et al. Aquatic ecosystem services of reservoirs in semi-arid areas: sustainability and reservoir management. **River Basin Management VIII**, v. 1, p. 187– 200, 2015.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. CICES V5. 1. Guidance on the Application of the Revised Structure. **Fabis Consulting**, n. January, p. 53, 2018.

HERNANI, L.C. et al. A erosão e seu impacto. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J.R.R., eds. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro, Embrapa, p.47-60., 2002.

HOFFMANN, R; NEY, M. G. **Estrutura fundiária e propriedade agrícola no Brasil, grandes regiões e unidades da federação.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2010.

HOFFMANN, R. **Estatística para economistas**. rev. e ampliada – Editora Pioneira, São Paulo. 3° ed. 1998.

HOLANDA M. C., GOSSON, A. M., NOGUEIRA, C. A. G. **O índice de Gini como medida de concentração de Renda**. Nota técnica Nº 14 do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2020**, 2020. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas. Acesso em: 21 mar. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Mapa de biomas e de vegetação. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. (Acessado em 20 de abril de 2020, em http://mapas.ibge.gov.br/).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CENSO DEMOGRÁFICO 2020**: resultados preliminares do universo. In: IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em:https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=resultados Acesso em: fev. 2023.

INÁCIO SILVA, J. R.; SOUZA, R. M. S.; SANTOS, W. A.; ALMEIDA, A. Q.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasil. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, p. 1–10, 2017.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Instrução Especial INCRA n. 20 de 28 de maio de 1980**. 2016. Disponível em: http://www.incra.gov.br/sites/ /institucional/legislação/atos internos/instruções. Acesso em: 27 mar. 2022.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **O Brasil desconcentrado terras**. Brasília, P. 37, 2001.

IPEA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA**. Atlas da Violência 2018.

IPEA – **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. 2020. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_alphacontent&ordering=11&limitstart=12420&limit=20&Itemid=23. Acesso em: 27, mar, 2022.

JACKSON, B.; PAGELLA, T.; SINCLAIR, F.; ORELLANAC, B.; HENSHAWD, A.; REYNOLDS, B.; MCINTYREC, N.; WHEATER, H.; EYCOTT, E. Polyscape: A GIS

mapping framework providing efficient and spatially explicit landscape-scale valuation of multiple ecosystem services. **Landscape and Urban Planning**, v. 112, n. 1, p. 74–88, 2013.

JALIGOT, R.; CHENAL, J.; BOSCH, M. Assessing spatial temporal patterns of ecosystem services in Switzerland. **Landscape Ecology**, v. 34, n. 6, p. 1379–1394, 2019.

JODAS, N. Diretrizes de sustentabilidade da Economia Ecológica para os projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Brasil. 2019. **Tese** (Doutorado em Direito Econômico e Financeiro) - Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

JORDA-CAPDEVILA, D.; GAMPE, D.; GARCÍA, V. H.; LUDWIG, R.; SABATER, S.; VERGOÑOS, L.; ACUÑA, V. Impact and mitigation of global change on freshwater- related ecosystem services in Southern Europe. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 895–908, 2019.

JUNG, S., RASMUSSEN, L.V., WATKINS, C., NEWTON, P., AND AGRAWAL, A. Brazil's national environmental registry of rural properties: implications for live LaHood's. **Ecological Economics**, 136, 53–61, 2017.

KARIMI, A; YAZDANDAD, H; FAGERHOLM, N. Evaluating social perceptions of ecosystem services, biodiversity, and land management: Trade-offs, synergies and implications for landscape planning and management. **Ecosystem Services**, *[S. l.]*, v. 45, n. September, 2020.

KEENAN, T., SABATÉ, S., GRACIA, C. Forest Eco - physiological Models and Carbon Sequestration in Bravo, F., LeMay, V., Jandl, R., Gadow, K. (Eds.) Managing Forest Ecosystems. Springer. Netherlands. 2008.

KHAN, I.; ZHAO, M. Water resource management and public preferences for water ecosystem services: A choice experiment approach for inland river basin management. **Science of the Total Environment**, v. 646, p. 821–831, 2019.

KIM, I.; ARNHOLD, S.; AHN, S.; BAO LE, Q. Land use change and ecosystem services in mountainous watersheds: Predicting the consequences of environmental policies with cellular automata and hydrological modeling. **Environmental Modelling and Software**, v. 122, 2019.

KNEZ, I. Memories for Climate and Places. **The 5th International Conference on Urban Climate (ICUC-5)**, v. 2, p. 69–72, 2003.

KRONEMBERGER, D. M. P. Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. **Ciência a Cultura.** São Paulo, v. 71, n. 1, p. 40-45, 2019.

KRÜGER, E. L; COSTA T. Interferences of urban form on human thermal perception. **Science Total Environment**. 653:1067-1076, 2018.

LAGBAS, A. J. Social valuation of regulating and cultural ecosystem services of Arroceros Forest Park: A man-made forest in the city of Manila, Philippines. **Journal of Urban Management**, v. 8, n. 1, p. 159–177, 2019.

LANDAU, E. C.; DA CRUZ, R. K.; HIRSCH, A.; PIMENTA, F. M.; GUIMARÃES, D. P. Variação geográfica do tamanho dos módulos fiscais no Brasil. Minas Gerais: **Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagos – MG, 2012.

LANDELL-MILLS, N.; PORRAS, T. I. Silver bullet or fools' gold: A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor**.** Instruments for sustainable private sector forestry series. **Londres: International Institute for Environment and Development (IIED)**, 2002.

LAUDARES, S. S. DE A.; SILVA, K. G. DA; BORGES, L. A. C. Cadastro Ambiental Rural: uma análise da nova ferramenta para regularização ambiental no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 31, 111-122, 2014.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.

LEBLEU, C.; DOUGHERTY, M.; RAHN, K.; WRIGHT, A.; BOWEN, R.; WANG, R.; ORJUELA, J. A.; BRITTON, K. Quantifying thermal characteristics of stormwater through low impact development systems. **Hydrology**, v. 6, n. 1, 2019.

LEDRU, M. P.; JESKE-PIERUSCHKA, V.; BREMOND, L.; DEVELLE, A. E.; SABATIER, P.; MARTINS, E. S. P. R.; FREITAS-FILHO, M. R.; FONTENELE, D. P.; ARNAUD, F.; FAVIER, C.; BARROSO, F. R. G.; ARAÚJO, F. S. When archives are missing, we decipher the effects of public policies and climate variability in the semi-arid region of Brazil, using central studies of sediments. **Environmental Science Total,** v. 723, p. 1-16, 2020.

LEI N. 12651, de 25 de maio de 2012. (2012). **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; altera as Leis nos 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 nos 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. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Casa Civil. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651 aceso em 17 de mar. de 2021.

LEITE, A. Z. Análise da concentração fundiária no Brasil: desafios e limites do uso do índice de Gini. **Revista nera**, (43), 10-28, 2018.

LI, P. The Ecological Sports Tourism Tourists Behavior Investigation—The Case of Liuxi River National Forest Park in Guangzhou. **Chinese Studies**, v. 06, n. 02, p. 132– 142, 2017.

LIMA, S. R. R; BARRETO, R. C. S. A Região Nordeste e a utopia do desenvolvimento econômico. **Reflexões Econômicas.** n.1. v.2. p.123-144, 2016.

LIMA, T. A., DA SILVA SANTOS, L., GONÇALVES, M. V. S., OLIVEIRA, T. A. A., & DE LIMA, J. R. F. **A fruticultura como vetor do crescimento populacional do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA. Desenvolvimento do semiárido: Organizações, gestão, inovação & empreendedorismo.** Volume 2, 73, 2021.

LOPES, I.; MELO, J. M. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; GUIMARAES, M. J. M.; LOPES, B.; LEAL, B. G. Caracterização pluviométrica, precipitações máximas e balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos em mesoregiões de Pernambuco. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, p. 20-33, 2017.
LOPES, I.; RAMOS, C.; LEAL, B.; SILVA, D. Caracterização ambiental espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal no Estado de Pernambuco. **Revista Ambientale**, 11, Janeiro/Abril, Vol.11, nº 1 - 2019.

LUO, Y; ZHANG, M. Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 12, p. 3370–3378, 2009.

LUZ., G., G., GALVINCIO., J., D. Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPer. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.15, n.02, 1094-1107, 2021.

MACHADO, F. H. "Valoração econômica dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do manancial do Ribeirão do Feijão – São Carlos, SP". **Dissertação** (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá-MG, p. 127, 2010.

MACHADO, M. R. I. M; ZERBONE, M. A. A. Nova lógica na produção de cana-de-açúcar na Zona da Mata pernambucana: transformações fundiárias para a perpetuação das relações de poder. **Revista Nera,** Ano 16, nº. 22, p. 111-126, 2013.

MACIEL, C.; PONTES, E. T. **Seca e convivência com o semiárido: Adaptação ao meio e patrimonialização da Caatinga no Nordeste brasileiro**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Consequência Editora, p.129, 2015.

MACIEL, H. M.; MACIEL, W. M. Cadastro Ambiental Rural (CAR): Uma descrição do Brasil. **Conjecturas,** v. *22*, 98–112, 2021.

MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P. **Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações.** Texto para Discussão. Instituto de Economia – UNICAMP, Campinas, n. 116, mar. p. 39, 2004.

MAIA, A. G. **Valoração de recursos ambientais**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento econômico, Espaço e Meio Ambiente). Instituto de Economia – UNICAMP, Campinas, p. 199 2002.

MAIA, K. F; GOMES, R. A. Mudanças na estrutura fundiária do Sertão Paraibano e suas implicações para a consolidação da agricultura familiar. **Estudos Sociedade e Agricultura**, vol. 28, núm. 2, 259-283, 2020.

MALVEZZI, R. **Semi-arido uma visão holística**. Brasília: Confea. 140p. 2007.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas–Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso deSolo do Brasil. Disponível em: http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection. Acesso em 01 de nov de 2021.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.
MARENGO, J. A; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C. S.; CUNHA, A. P; BRITO, S; MORAES, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E. A., & LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. **EMBRAPA**, 1, 385- 422, 2011.

MARENGO, J. A., SOUZA JR, C. M., THONICKE, K., BURTON, C., HALLADAY, K., BETTS, R. A., SOARES, W. R. Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, 228, 2018.

MARTÍN-LÓPEZ, B.; INIESTA-ARANDIA, I.; GARCÍA-LLORENTE, M.; PALOMO, I.; CASADO-ARZUAGA, I.; GARCÍA DEL AMO, D.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; OTEROS-ROZAS, E.; PALACIOS- AGUNDEZ, I.; WILLAARTS, B.; GONZÁLEZ, J. A; SANTOS-MARTÍN, F.; ONAINDIA, M.; LÓPEZ-SANTIAGO, C.; MONTES, C. Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. **PLoS ONE**, 2012.

MARTIN-ORTEGA, J.; THIJS, D.; OJEA, E.; LORENZO-ARRIBAS, A. Dissecting price setting efficiency in Payments for Ecosystem Services: A meta-analysis of payments for watershed services in Latin America. **Ecosystem Services**, v. 38, n. June, p. 100961, 2019.

MATTOS, L. M. D., HERCOWITZ, M., SHANG, W., GONG, Y., WANG, Z., STEWARDSON, M. J., CUNHA, P. R. Valoração Econômica de Unidades e Conservação O Método de Valoração Contingente Caso de Estudo: Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio – SP). **Biological Conservation**. 1–16, 2015.

MEDEIROS, C. N. de. **Mapeamento da concentração da posse da terra na Região Nordeste e no estado do Ceará – 1970-2006**. Textos para discussão, nº 115, INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE, 2016.

MEDEIROS, C. N. de. "Análise Da Estrutura Fundiária Da Região Nordeste E Do Estado Do Ceará Durante O Período 1970-2006". In: VI Encontro Economia do Ceará em Debate. **Anais**..., Fortaleza, 2010.

MEDEIROS, M. **Medidas de Desigualdade e Pobreza**, Brasília, EdUnB, p. 170 p. 2012.

MEDINA, F. Consideraciones sobre el índice de Gini para medir la concentración del ingreso. **CEPAL** - Estudios estadísticos y prospectivos, 2001.

MELO, D. S.; BRAZ, A. M. Questão agrária brasileira: uma proposta de representação da estrutura fundiária. **Revista Nera**, 29-53, 2018.

MELO, G. K. R. M. M. de. Programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PPSA) para Gestão dos Recursos Hídricos no Semiárido. **Tese**. Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, p. 126, 2015.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3 Suppl, p. 643–53, 2012.
MILARÉ, É. **Direito do ambiente**. 8ª. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2013.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.** [s.l: s.n.].

MILLER, S. M.; MONTALTO, F. A. Stakeholder perceptions of the ecosystem services provided by Green Infrastructure in New York City. **Ecosystem Services**, v. 37, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2015). **Cadastro Ambiental Rural**. 2015, de http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/cadastro-ambiental-rural. Acesso em 19 de mar. de 2021.

MIRANDA, R. D. Q., GALVÍNCIO, J. D., de MOURA, M. S. B., JONES, C., & SRINIVASAN, R. Análise espacial do balanço hídrico na Caatinga da Bacia do Rio Pontal. In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 5., 2017, Juazeiro, BA. A agrometeorologia na solução de problemas multiescala: **anais**. Petrolina: Embrapa Semiárido; Juazeiro: UNIVASF; Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2017.

MIRANDA, R. E. Q. de. et al. Dry Forest Deforestation Dynamics In Brazil's Pontal Basin. **Revista Caatinga**. 2018, v. 31, n. 2, pp. 385-395.

MIRANDA, R. Q.; NÓBREGA, B. L. R.; MOURA, M. S. B.; SRINIVASAN, R.; GALVÍNCIO, J.D. Realistic and simplified models of plant and leaf area indices for a seasonally dry tropical forest. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2020.

MIRANDA, R. Q de. Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na caatinga. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 122 f., Recife, 2017.

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi-arid regions: A case study from Northeastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 434–435, p. 55–68, 2012.

MORAES, A. D. Entre a incerteza e a confiança: mercados e relações sociais de troca comercial dos fruticultores no polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA. 321f. **Tese** (Doutorado em Sociologia) – Programa de Pós-Graduação em Sociologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MORAIS, Y. C. B. ; FRANCA, L. M. A. ; QUEIROZ, W. O. ; SOUZA, W. M. ; GALVÍNCIO, J. D. . Climate variability and extreme events occurrence in Petrolina-PE municipality. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 6, p. 175-183, 2016.

MORELLO, T. F.; MARCHETTI, R.R.; ANDERSON, L. O.; OWEN, N.; ROSAN, T, M.; STEIL, L. Predicting fires for policy making improving accuracy of fire brigade allocation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 169, n. August 2018, p. 106501, 2020.

MOROTE, Á. F.; OLCINA, J.; HERNÁNDEZ, M. The use of non-conventional water resources as a means of adaptation to drought and climate change in semi-arid regions: South-eastern Spain. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 1, 2019.

MOTTA, R. S. DA. Manual Para Valoração. **IPEA/MMA/PNUD/CNPq**, p. 242, 1997.

MOURA, K. I.; PEREIRA, A. P. B. Educação e território: o acesso ao Ensino Superior em Teófilo Otoni/MG e seus efeitos culturais no território. **Conhecimento & Diversidade**, v. 13, n. 31, p. 10-26, 2021.

MU, Q. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, n. 4, p. 519–536, dez. 2007.

MU, Y.; LIU, X.; WANG, L. A Pearson's correlation coefficient-based decision tree and its parallel implementation, **Information Sciences**, v. 435, p. 40-58, 2018.

MUYS, B. Serviços ecossistêmicos florestais. **Life on Land**, 386-395, 2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. 17 objetivos para transformar nosso mundo. Acesso em 09 de set de 2021 Disponível em: <https://www.nacoesunidas.org/post2015..br/projetos/prod_int/regiaosf.html>. Acesso em 12 mai. 2022.

NASH, E.; SUTCLIFFE, V. River Flow Forecasting Through Conceptual Models: Part 1 - A Discussion of Principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, p. 282–290, 1970.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **NOAA's Arctic Vision and Strategy**. 2011.

**Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions for Water**. 2018.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and Water Assessment Tool "SWAT": Ferramentas de Avaliação de Solo & Água. Documentação Teórica Versão 2009**. College Station, Texas: Instituto de Recurso Hídricos do Texas, 2011.

NOBRE, A. B; LEITE, M. E; MARQUES, S. C. S. Análise da Estrutura Fundiária do Município de Montes Claros-MG por Meio dos Dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR). **Espaço Aberto (PPGG – UFRJ)**. V. 11, N.1, p. 119-133, 2021.

NOEL, L., CARRONE, AP, JENSEN, AF, DE RUBENS, GZ, KESTER, J., & SOVACOOL, B. Willingness to pay for electric vehicles and vehicle-to-grid applications: a Nordic choice experiment. Energy Economics, 78, 525-534, 2019.

NUNES, A. M. B. Currais, cangalhas e vapores: dinâmicas de fronteira e conformação das estruturas social e fundiária nos “Sertões da Borborema” (1780-1920). 2016. 429 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Sociais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Sociais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.
NUNES DE CASTRO, C; PEREIRA, C. N. **Agricultura nordestina: Análise comparativa entre os Censos Agropecuários de 2006 a 2017**. Texto para Discussão, 2021.

NURMI, V.; AHTIAINEN, H. Distributional Weights in Environmental Valuation and Cost-benefit Analysis: Theory and Practice. **Ecological Economics**, v. 150, n. April, p. 217–228, 2018.

OBENG, E. A.; AGUILAR, F. X. Value orientation and payment for ecosystem services: Perceived detrimental consequences lead to willingness-to-pay for ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 458–471, 2018.

OLIVEIRA, A. de M. Análise dos serviços ecossistêmicos em reservatórios da Região Nordeste Semiárida do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, n. 0, p. 1447–1458, 2016.

OLIVEIRA, D. A.; SARAIVA, A. M. A. A relação entre educação e pobreza: a ascensão dos territórios educativos vulneráveis. **ETD: Educaçao Temática Digital**, v. 17, n. 3, p. 614-632, 2015.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ODS 15. Disponível em:  Acesso em 14 nov. 2017. Disponível em: https://www.nacoesunidas.org/post2015.

ONU - Organização das Nações Unidas. Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2018. New York: ONU, 199 p. 2018.

OTEROS-ROZAS, E.; LOPEZ-MARTÍN, B.; FAGERHOLM, N.; BIELING, C.; PLIENINGER, T. Using social media photos to explore the relation between cultural ecosystem services and landscape features across five European sites. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 74–86, nov. 2018.

PAIVA, A.L.R.; CABRAL, J.J.S.P.; AZEVEDO, J.R.G.; QUEIROZ, K.C.; PINHEIRO, R.B. **Noções básicas de hidrologia e hidrometria**. In: AZEVEDO, J.R.G. Hidrometria aplicada à gestão dos recursos hídricos. Ed. Universitária: Recife – PE, pp. 15-64, 2010.

PARK, S.Y.; LIM, S.Y.; YOO, S. H. Public willingness to pay a premium for uni-material beverage container in Korea: a contingent valuation study. **Water and Environment Journal.** v.32, 229–234, 2017.

PAUPITZ, J. **Elementos da estrutura fundiária e uso da terra no Semiárido Brasileiro**. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (Orgs.). Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

PAZ, Y. M; FREIRE-SILVA, J; ROMILDO MORANT, R DE H; GALVÍNCIO, J. G. Avaliação espacial da produção de sedimentos e estratégias para redução dos processos erosivos em bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Derbyana**, São Paulo, 43: e753, 2022.

PAZ, Y. M.; GALVÍNCIO, J. D.; HOLANDA, R. M.; SRINIVASAN, R.; JONES, C. A. Análise de sensibilidade e calibração espacial do modelo SWAT aplicado em uma bacia do litoral pernambucano através de dados climáticos observados e de reanálise (Analysis of sensitivity and calibration of the SWAT model applied in a basin in northeast of Brazil using observed and reanalysis climatic data). REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA, v. 11, p. 371-388, 2018.

PAZ, Y. M. Estimativas hidrossedimentológicas como ferramentas de planejamento e gestão ambiental em Bacias Hidrográficas. **Tese** (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 144 f. 2018.

PENNINGTON, RT, LEHMANN, CE AND ROWLAND, L. Tropical savannas and dry forests. **Current Biology**, 28, 541-545, 2018.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia – SC. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.5, p.859-869, 2013.

PERNAMBUCO. **Lei** 15.809 de 17 de maio de 2016. Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, cria o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e o Fundo Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais. Diário Oficial do Estado de Pernambuco.

PERNAMBUCO. Plano Estadual de Mudanças Climáticas. Recife: SEMAS, 2011. Disponível: <www.cprh.pe.gov.br/.../PLANO_MC_PERNAMBUCO>. Acesso em: 18 de out. de 2021.

PERNEGER, T. V; COURVOISIER, D. S; HUDELSON, P. M; GAYET-AGERON, A. Sample size for pre-tests of questionnaires. **Quality of Life Research**, 24, 147-151, 2015.

PERNEGER, T. V.; COURVOISIER, D.S.; HUDELSON, P.M.; GAYET-AGERON, A. PERROT-MAÎTRE, D. Vittel Payment for Ecosystems; A “perfect” PES case: Londres: **Department for International Development (DFID),** 2006.

PILZ, T., DELGADO, J. M., VOSS, S., VORMOOR, K., FRANCKE, T., CUNHA COSTA, A., MARTINS, E., BRONSTERT, A. Seasonal drought prediction for semiarid northeast Brazil: What is the added value of a process-based hydrological model. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23(4), p. 1951–1971, 2019.

PINTO, L. F. G; GUIDOTTI, V; SPAROVEK, G; REYDON, B; AZEVEDO-RAMOS, C; SIQUEIRA, G. Quem são os poucos donos das terras agrícolas no Brasil – O Mapa da Desigualdade. **Sustentabilidade em Debate**, (10), 1-21, 2020.

PLIENINGER, T., DIJKS, S., OTEROS-ROZAS, E., & BIELING, C. Assessing, mapping and quantifying cultural ecosystem services at the community level. **Land use policy**, 33, 118-129, 2013.

POLASKY, S.; TALLIS, H.; REYERS, B. Setting the bar: Standards for ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 24, p. 7356–7361, 2015.

POSTEL, S. L.; THOMPSON JR., B. H. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum**. v.29, p. 98-108, 2005.

PRADO, R.B.; COSTA INÁCIO, M.; LIMA, A.P.M.; SCHULER, A.E.; GUIMARÃES, J.L.B.; FIDALGO, E.C.C.; TURETTA, A.P.D.; MONTEIRO, J.M.G.; MARTINS, A.L.S.; OLIVEIRA, A.P.; CLEMENTE, E.P.; PEDREIRA, B.C.C.G. Evolução das iniciativas de pagamentos por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 36, n. 2, 2019.

PRADO JÚNIOR, C. **A questão agrária no Brasil.** São Paulo: Brasiliense, 1979.

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, D. D. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 403–410, 2001.

QUEIROZ, L. DE S.; ROSSI, S.; CALVET-MIR, L.; RUIZ-MALLÉN, I.; GARCÍA-BETORZ, S.; SALVÁ-PRAT, J.; MEIRELES, A. J. de A. Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. **Ecosystem Services**, v. 26, p. 137–145, 2017.

RAJASEKHAR, M.; SUDARSANA, R. G.; SIDDI, R. R.; IMRAN, B. U. Data on artificial recharge sites identified by geospatial tools in semi-arid region of Anantapur District, Andhra Pradesh, India. **Data in Brief**, v. 19, p. 462–474, 2018.

RAO, Y.; ZHOU, M.; OU, G.; DAI, D.; ZHANG, L.; ZHANG, Z.; NIE, X.; YANG, C. Integrating ecosystem services value for sustainable land-use management in semi-arid region. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 662–672, 2018.

REIS, J. V.; FREIRE-SILVA, J.; SANTOS, A, H, V.; SILVA, E. R. A. C. Pagamento por serviços ambientais: uma análise para o jardim botânico Benjamim Maranhão, João Pessoa (PB). **Revista Estudo & Debate**, v. 25, n. 3, 2018.

REIS, J. V.; FREIRE-SILVA, J.; SILVA, R. K. A.; SILVA, P. B. F. G.; HOLANDA, T.H.; ALVES-CAVALCANTI, E. R. da S. O valor de uso direto (VUD) dos serviços ambientais de regulação no Parque da Jaqueira (Recife, Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1360–1370, 2018.

REIS, J. V.; SILVA, L. J. A. Análise do Panorama da Legislação de Pagamento por Serviços Ambientais no Estado de Pernambuco. **Desenvolvimento em Questão**, v. 17, p. 236-248, 2019.

REIS, J. V. Histórico de projetos sobre Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no estado de Pernambuco (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 7–10, 2018.

REIS, J. V. Valoração dos serviços ambientais culturais das praias do município de Tamandaré, litoral sul do estado de Pernambuco, Brasil. **Dissertação** (mestrado) –

Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Recife, p. 135, 2018.

REIS NETO, A. F. R.; SILVA, L. J. A.; ARAÚJO, M. S. B. Sistema jurídico da R.E.D.D na Caatinga pernambucana. **Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. v. 15 n. 33, 2018.

RIBEIRO, F.L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 628-636, 2010.

RICART, S.; KIRK, N.; RIBAS, A. Ecosystem services and multifunctional agriculture: Unravelling informal stakeholders' perceptions and water governance in three European irrigation systems. **Environmental Policy and Governance**, v. 29, n. 1, p. 23–34, 2019.

RIERA, P.; GARCÍA, D.; KRISTROM, B.; BRANNLUND, R. **Manual de economía ambiental y de los recursos naturales, 3ª edición,** Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S. A. 2016.

RIZEEI, H. M.; AZEES, O. S.; PRADHAN, B.; KHAMEES, H. H. Assessment of groundwater nitrate contamination hazard in a semi-arid region by using integrated parametric IPNOA and data-driven logistic regression models. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 11, 2018.

ROCHA, E. D. S. L. Acesso a dados abertos e georreferenciados do governo brasileiro em plataformas móveis. 2014. 124 f. **Dissertação** (Programa de Engenharia de Sistemas e Computação / UFRJ / COPPE) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

RODRIGUES, A. L., VILLA, P. M., RODRIGUES, A. C., MATA, R. A., MARTORANO, L. G. Balanço hídrico de uma microbacia hidrográfica no Sudeste do Brasil: implicações para o manejo de serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

RODRIGUES, A.L.; VILLA, P.M., RODRIGUES, A.C., MATA, R.A. Diagnóstico participativo de uma microbacia hidrográfica no sudeste do Brasil: premissas de ordenação ambiental e agrícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.01, p. 343-354, 2019.

ROESCH-MCNALLY, G. E.; RABOTYAGOV, S. S. Paying for Forest Ecosystem Services: Voluntary Versus Mandatory Payments. **Environmental Management**, v. 57, n. 3, p. 585–600, 2016.

ROITMAN, I., VIEIRA, L.C.G., JACOBSON, T.K.B., DA CUNHA BUSTAMANTE, M.M., MARCONDES, N.J.S., CURY, K., ESTEVAM, L.S., DA COSTA RIBEIRO, R.J., RIBEIRO, V., STABILE, M.C. Rural environmental registry: An innovative model for land-use and environmental policies. **Land Use Policy**, 76, 95–102, 2018.

ROMEIRO, A. R. Evitar o colapso ambiental requer o fim do capitalismo? **Economia e Sociedade**, 2019.

ROSALEN, D. L**.** The impact of the law 10,267/2001 in the brazilian rural registration. **Revista Engenharia Agrícola**, *34*(2), 372-384, 2014.

ROSA NETO, C.; SILVA, F.A.C; ARAÚJO, R.V. **Qual é a participação da agricultura familiar na produção de alimentos no Brasil e em Rondônia**. EMBRAPA, 2020.

ROSSETTI, T.; HURTUBIA, R. An assessment of the ecological validity of immersive videos in stated preference surveys. **Journal of Choice Modelling**, v. 34, 2020.

ROUHOLAHNEJAD, E.; ABBASPOUR, K. C.; VEJDANI, M.; SRINIVASAN, R.; SCHULIN, R.; LEHMANN, A. A parallelization framework for calibration of hydrological models. **Environmental Modelling & Software**, v. 31, p. 28–36, 2012.

RUFINO, I. A. A.; SILVA, S. T. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: Uma abordagem metodológica. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 166-181, 2017.

RYFIELD, F.; BRANNIGAN, J.; CABANA, D.; CROWE, T. Conceptualizing 'sense of place' in cultural ecosystem services: A framework for interdisciplinary research. **Ecosystem Services**, v. 36, 2019.

SAITO, O.; HASHIMATO, S.; KAMIYAMA, C.; MATSUI, T. Co-design of national- scale future scenarios in Japan to predict and assess natural capital and ecosystem services. **Sustainability Science**, v. 14, n. 1, p. 5–21, 2019.

SÁNCHEZ, A. S.; ALMEIDA, M.B.; TORRES, E.A.; KALID, R.A.; COHIM, E; GASPARATOS, A. Alternative biodiesel feedstock systems in the Semi-arid region of Brazil: Implications for ecosystem services. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. October 2016, p. 2744–2758, 2018.

SÁNCHEZ, M.; LÓPEZ-MOSQUERA, N.; LERA-LÓPEZ, F.; FAULIN, J. An Extended Planned Behavior Model to Explain the Willingness to Pay to Reduce Noise Pollution in Road Transportation. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 144–154, 2018.

SANTORO, S.; PLUCHINOTTA, I.; PAGANO, A.; PENGAL, P.; COKAN, B.; GIORDANO, R. Assessing stakeholders' risk perception to promote Nature Based Solutions as flood protection strategies: The case of the Glinščica river (Slovenia). **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 188–201, 2019.

SANTOS, J.Y.G. Análise espaço-temporal de processos hidrossedimentológicos na bacia do Rio Tapacurá (Pernambuco, Brasil). **Tese** (Doutorado). Recife, UFPE, 205 p. 2015.

SANTOS, L. A. C. Utilização dos dados do Cadastro Ambiental Rural na análise de conflitos de uso do solo em Áreas de Preservação Permanente. **Tecnia**. v.3, n.1, 2018.

SANTOS, S. A; GOMES, A. D. S.; PIRES, M. D. M; GOMES, R. L. Estrutura fundiária na Bahia, Brasil: uma análise sob a ótica do índice de Gini**. Sociedade & Natureza**, *32*, 573-584, 2020.

SÃO JOSÉ, R. V. D; COLTRI, P. P; GRECO, R; SOUZA, I. S. D; TORRES, G. A. L; CHARLES, R; SANTOS, K. A. D. Avaliação de vulnerabilidade agrícola à seca: um estudo de caso no Semiárido do Estado da Bahia. **Revista caminhos de geografia**, 2020.

SARDANA, K. The willingness of tourists to pay for the restoration of traditional agroforestry ecosystems that provide biodiversity: evidence from India. **Ecosystem Services**. V. 159, p. 362-372, 2019.

SCHILLING, J., HERTIG, E., TRAMBLAY, Y., & SCHEFFRAN, J. Climate change vulnerability, water resources and social implications in North Africa. **Regional Environmental Change**, 20, 1-12, 2020.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (**SECTI**). FACEPE e APAC assinam Termo de Cooperação Técnica com investimento de R$ 1 milhão em projetos de PD&I na área de Gestão de Recursos Hídricos. 24 de abril de 2021. Disponível em: <https://confap.org.br/news/facepe-e-apac-assinam-termo-de-cooperacao-tecnica-com investimento-de-r-1-milhao-em-projetos-de-pdi-na-area-de-gestao-de-recursos-hidricos/> Acesso em: 15 de out de 2021.

SERAMIM, R. J. Cadastro ambiental rural: distribuição fundiária de propriedades rurais no Estado do Paraná. 2017. 135 f. **Dissertação** (Pós-Graduação em Administração – Mestrado Profissional) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

SERRA, C. A. T. Considerações acerca da evolução da propriedade da terra rural no Brasil. **Revista ALCEU**, v. 4, n. 7, p. 231-248, 2003.

SHAO, S.; TIAN, Z.; FAN, M. Do the rich have stronger willingness to pay for environmental protection? New evidence from a survey in China. **World Development**, v. 105, p. 83–94, 2018.

SILVA, C.; PEREIRA, M. T. Objetivos do desenvolvimento sustentável: uma análise do ods 6 para os países do Mercosul. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**. v.4, n.1, março de 2019.

SILVA, D. F. O Cadastro Ambiental Rural (CAR) como instrumento de informação e monitoramento da reserva legal no estado do Pará. 2015. 109 f. **Dissertação** (Mestrado em Direito). Centro Universitário do Estado do Pará/Universidade do Estado do Pará, 2015.

SILVA, E. R. A. C; MIRANDA, R. Q; FERREIRA, P. S; GOMES, V. P; GALVÍNCIO, J. D. Estimativa do Estresse Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE / Hydrological stress estimate in Pontal watershed-PE. **Caderno de Geografia**, 2016.

SILVA, E. R. A. C. Potencial de desenvolvimento hidroagrícola no Riacho do Pontal – PE: subsídios para o uso eficiente da água. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, p. 140, 2014.

SILVA, F. E. R.; FALCÃO, C. L. C.; CASTELO BRANCO, M. L. X. A água e sua importância para o sertanejo no ambiente semiárido cearense. **Revista Equador**. v. 8.2 p. 186-208, 2019.

SILVA, I. K. dos S; ALVES, J. S. P; SÁ, R. de A. Um olhar sobre a estrutura fundiária na atualidade: a concentração fundiária em Sergipe. **Cerrados**, v. 14, n. 2, p. 202-229, 2016.

SILVA, L. A. C. D., PINHEIRO, J. C. V., & CAMPOS, R. T. Disposição máxima a pagar por água potável dessalinizada em comunidades rurais cearenses. **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural-SOBER**, 42, 2004.

SILVA, L. C. S. Importância das nascentes do Semiárido Alagoano no abastecimento das populações rurais difusas**. Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 534-544, 2016.
SILVA, M.; SILVA, V.; SOUSA, E.; OLIVEIRA, S. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE (Risk Analysis of Degradation in Basin River Pontal – PE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5(3), 646-660, 2012.

SILVEIRA, V. C. Valoração econômica e percepção ambiental da Área de Proteção Ambiental Estadual Cachoeira das Andorinhas – sub-bacia do Rio das Velhas – MG. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 154 f, 2011.

SMITH, H. F.; SULLIVAN, C. A. Ecosystem services within agricultural landscapes-Farmers' perceptions. **Ecological Economics**, 2014.

SNCR. **Sistema Nacional de Cadastro Rural** (2018). Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Disponível em: http://www.cadastrorural.gov.br/estatisticas/sncr-sistema-nacional-decadastro-rural. Acesso em: 21 mar. 2022.

SOBEL, T. F.; XAVIER, L. F. **Avaliação de políticas públicas no Brasil: uma análise do semiárido** / Daniel da Mata, Rogério Edivaldo Freitas, Guilherme Mendes Resende. Desenvolvimento territorial no semiárido: uma avaliação a partir do Polo Petrolina-Juazeiro. Brasília: Ipea, 2019.

SOUTO, A. R.; CRESTANA, S. Identificação das áreas potenciais de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnicas de SIG em uma microbacia hidrográfica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.3, p.429-435, 2000.

SOUZA, E. R., AMARO, A. C. E., DE SOUSA S., L., ONO, E. O., RODRIGUES, J. D. Fenologia e trocas gasosas da videira cv. Sweet Sunshine em clima semiárido. **Comunicata Scientiae**, 7, 319-333, 2016.

SOUZA, R., SOUZA, E. S. D., ANTONINO, A. C., & LIMA, J. R. D. S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 19, 449-455, 2015.

SOVACOOL, B. K. Willingness to pay for electric vehicles and vehicle-to-grid applications: A Nordic choice experiment. **Energy Economics**, v. 78, p. 525–534, 2019.

SRINIVAS, R.; SINGH, A. PRATAP, DHADSE, K.; GARG, C. An evidence based integrated watershed modelling system to assess the impact of non-point source pollution in the riverine ecosystem. **Journal of Cleaner Production**, v. 246, p. 118963, 2020.

SRINIVASAN, R.; RAMANARAYANAN, T. S.; ARNOLD, J.G.; BEDNARZ, S.T. The GIS tool chosen was the Geographical. **Jawra**, v. 34, n. 1, p. 91–101, 1998.

SUPER - Sistema de Unidades de resposta hidrológica para Pernambuco. **O que é o super**. 2021. Disponível em: < https://super.hawqs.tamu.edu/# >. Acessado em 07 de mai de 2021.

SUR, P.; CHEN, Y.; CANDÈS, E. J. **The likelihood ratio test in high-dimensional logistic regression is asymptotically a rescaled Chi-square**. Springer Berlin Heidelberg, v. 175, 2019.

SUSILOWATI, I. SYAH, A. F. SUHARNO, AMINATA, J. Economic Valuation ofTourism Attraction of Jatijajar Cave in Kebumen Regency. **Jurnal Ekonomi dan Kebijakan**. V. 11, 12-28, 2018.

SVENNINGSEN, L. S.; JACOBSEN, J. B. Testing the effect of changes in elicitation format, payment vehicle and bid range on the hypothetical bias for moral goods. **Journal of Choice Modelling**, v. 29, n. August, p. 17–32, 2018.

TARASHKAR, M.; HAMI, A.; NAMIN, F.; E. The Effects of Parks' Landscape Characteristics on Women's Perceptual Preferences in Semi-arid environments. **Journal of Arid Environments**, v. 174, n. December 2019, p. 104080, 2020.

TEIXEIRA, R. L. P. Adaptação climática no contexto das cidades brasileiras: reflexões à luz da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. **PerCursos**, v. 21, n. 46, p. 05-024, 2020.

TEIXEIRA, C. G. Pagamento por serviços ambientais de proteção às nascentes como forma de sustentabilidade e preservação ambiental. 2011. 198f. **Dissertação** (Mestrado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2011.

TENÓRIO LIMA, J. R. Mecanização agrícola, trabalho e subjetividade: a Teoria das Representações Sociais como recurso para compreensão das mudanças ocorridas nos canaviais brasileiros. **Revista Colombiana de Sociología**, v. 44, n. 1, p. 73-96, 2021.

TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L., & FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, 11(1), 137-156, 2007.

TERAMATSU, G. A Educação Superior no território brasileiro: aproximações a partir dos dados dos censos demográficos (1872-2010). In: **Congresso brasileiro de geógrafos**. 2014.

THOMPSON, B. S.; FRIESS, D. A. Stakeholder preferences for payments for ecosystem services (PES) versus other environmental management approaches for mangrove forests. **Journal of Environmental Management**, v. 233, n. December 2018, p. 636–648, 2019.

TIDWELL, J. B.; TERRIS-PRESTHOLT, F.; QUAIFE, M.; AUNGER, R. Understanding demand for higher quality sanitation in peri-urban Lusaka, Zambia through stated and revealed preference analysis. **Social Science and Medicine**, v. 232, n. May, p. 139–147, 2019.

TOLEDO, C. E.; ALCANTARA, N. R. Sensitivity of hydrological connectivity in a semiarid basin with a high-density reservoir network. **Revista Ambiente e Agua**, 2019.

TONG, S. T. Y.; NARAMNGAM, S. Modeling the impacts of farming practices on water quality in the Little Miami River basin. **Environmental Management**, v. 39, n. 6, p. 853–866, 2007.

TORKAR, G.; KRAŠOVEC, U. Students' attitudes toward forest ecosystem services, knowledge about ecology, and direct experience with forests. **Ecosystem Services**, v. 37, 2019.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ABRH. 2, ed. Porto Alegre, 678 p. 2005.
TUDOSE, N. C.; UNGUREAN, C.; DAVIDESCU, S.; CLINCIU, I.; MARIN, M.; NITA, VASCONCELOS FILHO, J. M. A produção da estrutura fundiária urbana no litoral Norte de João Pessoa e sua importância para a compreensão da segregação socioespacial. **Geoconexões**, v. 1, p. 17-32, 2017.

VEIGA NETO, F.C.; GAVALDÃO, M. Iniciativas de PSA de conservação de recursos hídricos na mata atlântica Fernando Veiga e Marina Gavaldão. In: GUEDES, F.B.; SEEHUSEN, S.E. (org.) **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica:** lições apreendidas e desafios. Brasília: MMA, p. 123-181, 2001.

VERDASCA, S.; RANIERI, V. E. L. **Benefícios e barreiras da transparência pública nos dados do Cadastro Ambiental Rural**. Ambiente & Sociedade, v. 24, 2021.

VIEIRA, R. M. D. S. P. et al. Land use and land cover map of a semiarid region of Brazil for meteorological and climatic models. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 129–138, 2013.

VILLA, F.; BAGSTAD, K. J.; VOIGT, B.; JOHNSON, G. W.; ATHANASIADIS, I. N.; BALBI, S. The misconception of ecosystem disservices: How a catchy term may yield the wrong messages for science and society. **Ecosystem Services**, v. 10, p. 52–53, 2014.

VOLTAIRE, L.; JEANTY, P. W.; PIRRONE, C.; MAHIEU, P. A. A convergent validity test within the payment card format using simulation techniques. **Applied Economics**, v. 51, n. 34, p. 3770–3786, 2019.

VONDOLIA, G. K.; NAVRUD, S. Are non-monetary payment modes more uncertain for stated preference elicitation in developing countries? **Journal of Choice Modelling**, v. 30, n. January 2018, p. 73–87, 2019.

VOSSLER, C. A.; HOLLADAY, J. S. Alternative value elicitation formats in contingent valuation: Mechanism design and convergent validity. **Journal of Public Economics**, v. 165, p. 133–145, 2018.

WANG, Z. Y., LEE, J. H. W., MELCHING, C. S. River dynamic and integrated River management. **Springer Heidelberg Dordrecht London NY**, p. 855, 2015.

WARDROPPER, C. B. et al. Ecological worldview, agricultural or natural resource- based activities, and geography affect perceived importance of ecosystem services. **Landscape and Urban Planning**, v. 197, n. January, p. 103768, 2020.

WHATELY, M.; HERCOWITZ, M. **Serviços ambientais:** conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo. São Paulo: Instituto Socioambiental, 119 p. 2008.

WILLCOCK, S.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, J., HOOFTMAN, DAP, BAGSTAD, KJ, BALBI, S., MARZO, A., PRATO, C.; SCIANDRELLO, S.; SIGNORELLO, G.; VOIGT, B.; VILLA, F.; BULLOCK, J. M.; ATHANASIADIS, I. Machine learning for ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 33, p. 165–174, 2018.
YANG, X., CHENG, L., YIN, C., LEBAILLY, P. AZADI, H. Urban residents' willingness to pay for corn straw burning ban in Henan, China: Application of payment card. **Journal of Cleaner Production**, 193, 471-478, 2018.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (UNITED NATIONS). **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions forWater**. 2018.

WUNDER, S. The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. **Conservation Biology**, v. 21, p. 48-58, 2008.

YANG, X.; CHENG, L.; YIN, C.; LEBAILLY, P.; AZADI, H. Urban residents Biostatistical Analysis. 3 ed. Prentice Hall**, Upper Saddle River**, 1996.

ZAWOJSKA, E.; BARTCZAK, A.; CZAJKOWSKI, M. Disentangling the effects of policy and payment consequentiality and risk attitudes on stated preferences. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 93, p. 63–84, 2019.

ZHAN, X; HUANG, M. ArcCN - Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, p. 875–879, 2004.

ZHANG, W.; YU, Y.; WU, X.; PEREIRA, P.; BORJA, M. E. L. Integrating preferences and social values for ecosystem services in local ecological management: A framework applied in Xiaojiang Basin Yunnan province, China. **Land Use Policy**, v. 91, n. September 2019, p. 104339, 2020.

## APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO PONTAL-PE

Data de aplicação: _____/_____/_____ Nº questionário: ____ Cidade: _____

## QUESTIONÁRIO DE VALORAÇÃO ECONÔMICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO PONTAL-PE

**(AFRÂNIO, DORMENTES, LAGOA GRANDE É PETROLINA)**

Prezado(a) Morador(a), sou aluno/pesquisador no doutorado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Tendo como orientadora a Prof. Dra. Josiclêda Domiciano Galvíncio, estou estimando, através dos dados gerados desta pesquisa, o quanto os moradores desta cidade estão dispostos a pagar para conservação dos serviços ecossistêmicos de regulação gerados pelo Rio Pontal. Desde já solicitamos a expressão de seu pensamento de maneira franca, pois entendemos que não existem respostas certas ou erradas. Informamos, ainda, sobre a importância destes dados serem tratados de modo sigiloso e impessoal. Agradecemos sua colaboração!

### A. Informações socioeconômicas

1) Idade:

a) 18 a 24 anos ( )
b) 25 a 34 anos ( )
c) 35 a 44 anos ( )
d) 45 a 54 anos ( )
e) 55 a 65 anos ( )

2) Sexo:

a) Masculino ( )
b) Feminino ( )

3) Onde reside

a) Residente no município de Afrânio ( )
b) Residente no município de Dormentes ( )
c) Residente no município de Lagoa Grande ( )
d) Residente no município de Petrolina ( )

4) Escolaridade:

a) Fundamental incompleto ( )
b) Fundamental completo ( )
c) Médio incompleto ( )
d) Médio completo ( )
e) Curso técnico ( )
f) Curso superior ( )
g) Pós-graduado ( )

5) Quanto é sua renda pessoal mensal?

a) Menos que um salário mínimo a R$ 998,00 ( )
b) Entre R$ 998,00 a R$ 1.996,00 ( )
c) Entre R$ 1.996,00 a R$ 2.994,00 ( )
d) Entre R$ 2.994,00 a R$ 3.992,00 ( )
e) Maior do que R$ 3.992,00 ( )

**b) Informações sobre serviços ecossistêmicos é a disposição a pagar**

A abordagem dos Serviços Ecossistêmicos (SE) enfatiza as relações entre biodiversidade, ecossistemas e suas contribuições às pessoas (Díaz et al., 2018; MEA, 2005). Fish, Church e Winter (2016) diz que, embora o conceito geral de serviços ecossistêmicos seja frequentemente associado a uma visão amplamente instrumental do ecossistema humano a ideia de serviços ecossistêmicos é concebida para reconhecer que os ecossistemas estão repletos de valor cultural e significado e convidam, portanto, a uma compreensão expansiva das contribuições ecossistêmicas para o bem-estar humano. Os serviços ecossistêmicos de regulação, são compostos pelas condições reguladoras das condicionantes ambientais. Um exemplo direto: há um elevado índice de chuvas na Amazônia porque as florestas se concentram na região e condicionam um clima perfeito para essa regulação natural. Considere a possibilidade das ações de conservação, como, zoneamento, manejo, fiscalização, estudos e pesquisas dos serviços ecossistêmicos de regulação do Rio Pontal na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE serem mantidas diretamente por contribuições financeiras de indivíduos conscientes de sua importância, com o objetivo de conservar os serviços ecossistêmicos de regulação. Assim, a contribuição seria usada para melhorar a preservação ou conservação do ambiente local, garantindo os serviços ecossistêmicos para as presentes e futuras gerações. Com base no que foi apresentado sobre os serviços ecossistêmicos de regulação, indique o valor que está disposto (a) a pagar (DAP) para a conservação deles, na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE.

6) Você estaria disposto a pagar pela conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação da água da Bacia hidrográfica do Rio Pontal?

Sim ( )
Não ( )

Caso tenha respondido "não", qual o motivo? ( )

Já pagou por serviços públicos na forma de impostos ( )

Não me tanto a falta de água ou o meio ambiente ( )

Outros: _____

7) Quanto você está disposto a pagar para promover a conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação do Rio Pontal?

Para viabilizar a conservação, seria necessária a contribuição mensal de uma quantia para a conservação ambiental dos serviços ecossistêmicos de regulação do Rio Pontal na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE. Supondo que a cobrança desta taxa estivesse vinculada

à cobrança de um imposto, que chegaria mensalmente na sua residência em nome da SEMAS/PE o entrevistado estaria disposto a pagar quanto.

| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R$ 2,00 | R$ 5,00 | R$ 10,00 | R$ 15,00 | R$ 20,00 | R$ 25,00 | Mais do que R$ 30,00 | Não sei |

8) Você acha que a Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE, fornece serviços ecossistêmicos de regulação através do Rio Pontal.

a) Sim ( )

b) Não ( )

c) Não sei ( )

9) De acordo com o seu entendimento, você acha que os serviços ecossistêmicos de regulação, sendo conservados, podem contribuir com quais processos naturais na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE.

a) Regulação do microclima ( )
b) Regulação da água (vazão) ( )
c) Regulação de inundações e erosão ( )
d) Purificação da água ( )
e) Retenção de sedimentos ( )
f) Todos os citados ( )

# ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

UFPE UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS RECIFE - UFPE/RECIFE

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (PSA) EM BACIA HIDROGRÁFICA: utilização da modelagem hidrológica e valoração ambiental como ferramenta para política ambiental em Pernambuco

**Pesquisador:** JOSIMAR VIEIRA DOS REIS
**Área Temática:**
**Versão:** 2
**CAAE:** 21327119.2.0000.5208
**Instituição Proponente:** CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio
**DADOS DO PARECER**
**Número do Parecer:** 3.712.161

**Apresentação do Projeto:**
O projeto apresentado trata de uma pesquisa intitulada "Valoração ambiental e modelagem dos serviços ecossistêmicos de regulação na bacia hidrográfica do Riacho do Pontal-PE: uma abordagem econômica ecológica", a qual será desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA. O pesquisador é o doutorando Josimar Vieira dos Santos que será orientado pela Professora Josicleda Domiciano Galvincio do Departamento de Ciências Geográficas, Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco.
**Objetivo da Pesquisa:**
Objetivo Primário
Analisar o valor econômico dos serviços ecossistêmicos de regulação da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE.
Objetivos Secundários
Analisar a dinâmica da distribuição espaço-temporal da vegetação ciliar na bacia do Riacho do Pontal; Analisar o balanço hídrico da Caatinga na bacia do riacho do Pontal utilizando o modelo Soil and WAter Assessment Tool (SWAT); Quantificar o serviço ecossistêmico de regulação na bacia do riacho do Pontal.
**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos

Os riscos diretos resultantes da participação do voluntário nesta pesquisa, como possíveis desconfortos ou constrangimentos relativos aos depoimentos e opiniões expressadas durante as entrevistas, serão

minimizados pela ausência de identificação da identidade do entrevistado e pela realização da entrevista em local confiável, de acordo com a escolha do voluntário. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Em nenhum momento o participante será identificado. Será retirada da pesquisa toda e qualquer informação que permita identificá-lo. Além disso, respeitando-se a dignidade, a autonomia e a liberdade do ser humano, o participante poderá, a qualquer tempo e sem qualquer penalidade, retirar o seu assentimento e deixar a pesquisa.

Benefícios

Informo que não serão gerados benefícios diretos como resultado desta pesquisa, porém os benefícios indiretos da pesquisa serão indicadores sobre os recursos hídricos locais, como também, material de pesquisa sobre a região que poderão ser empregados futuramente.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O projeto faz parte do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER) que propõe implantar informações dos serviços ecossistêmicos das bacias hidrográficas de Pernambuco. Para tal, será utilizado o Método de Valoração Contingente (MVC) a fim de valorar economicamente a bacia, e em seguida a modelagem hidrológica que permitirá realizar simulações sob condições de mudanças de uso da terra. No processo de modelagem será utilizado o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT), as quais irão produzir dados referentes a vazão e fluxo de sedimentos na bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é dividida em subunidades levando em consideração a cobertura da terra, relevo e características do solo. Espera-se que os resultados possam contribuir com a conservação dos serviços ecossistêmicos na bacia do Pontal. Então, no estudo será aplicado um questionário seguindo aqueles realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Serão incluídas pessoas de 18 a 65 anos, economicamente ativas e provenientes das cidades de Afrânio, Dormentes, Lagoa Grande e Petrolina. Os participantes, na pesquisa, será para estimar o valor da bacia hidrográfica.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Os termos de apresentação obrigatória foram apresentados.

**Recomendações:** Não há recomendações.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:** Não há pendências.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

As exigências foram atendidas e o protocolo está APROVADO, sendo liberado para o início da coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio do Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via “Notificação”, pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link “Para enviar Relatório Final”, disponível no site do CEP/CCS/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil. Informamos, ainda, que o (a) pesquisador

(a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/CCS/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência

| Tipo Documento | Arquivo | Postagem | Autor | Situação |
|---|---|---|---|---|
| Informações Básicas do Projeto | PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1424950.pdf | 03/10/2019 17:56:22 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Outros | RESPOSTAASPENDENCIAS.docx | 03/10/2019 17:55:33 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Projeto Detalhado / Brochura Investigador | PROJ_PENDENCIAS_02_JOSIMARVIEIRADOSREIS.docx | 03/10/2019 17:52:28 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Projeto Detalhado / Brochura Investigador | PROJETO_JOSIMARVIEIRADOSREIS.docx | 02/09/2019 12:07:59 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de | tclemaiores18.docx | 02/09/2019 12:06:26 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ausência | | | | |
| Outros | TERMODECOMPROMISSOECONFIDE NCIALIDADE.PDF | 29/08/2019 15:41:13 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Outros | Ausenciadecartaanuencia.pdf | 29/08/2019 15:39:13 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Outros | Currillumjosimar.pdf | 29/08/2019 15:36:58 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Outros | CURRICULUMORIENTADORA.pdf | 29/08/2019 15:36:03 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Declaração de Instituição e Infraestrutura | DECLARACAOJOSIMARREIS.pdf | 29/08/2019 15:31:30 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |
| Folha de Rosto | FOLHADEROSTO.PDF | 29/08/2019 15:26:59 | JOSIMAR VIEIRA DOS REIS | Aceito |

**Situação do Parecer:** Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:** Não

RECIFE, 09 de setembro de 2019

**LUCIANO TAVARES MONTENEGRO**

**(Coordenador(a))**