



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS – GRADUAÇÃO
NÚCLEO DE REFERÊNCIA EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS DO TRÓPICO
ECOTONAL DO NORDESTE – TROPEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE – PRODEMA
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE (MDMA)**

MARIANA FONTENELE RAMOS

**DIAGNÓSTICO DAS PERDAS DE SOLO POR EROSIÃO PLUVIAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM PETRÔNIO PORTELA, INSERIDA NO
SEMIÁRIDO PIAUIENSE**

Teresina

2021

MARIANA FONTENELE RAMOS

**DIAGNÓSTICO DAS PERDAS DE SOLO POR EROSÃO PLUVIAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM PETRÔNIO PORTELA, INSERIDA NO
SEMIÁRIDO PIAUIENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí – PPGDMA – UFPI, na área de concentração Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste e linha de pesquisa Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Giovana Mira de Espindola

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares

Teresina

2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

R175d Ramos, Mariana Fontenele.
Diagnóstico das perdas de solo por erosão pluvial na bacia hidrográfica da Barragem Petrônio Portela, inserida no semiárido piauiense / Mariana Fontenele Ramos. – 2021.
156 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2021.
“Orientadora: Prof^a. Dr^a. Giovana Mira de Espindola”
“Cooreintador: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares”

1. Geoprocessamento. 2. RUSLE. 3. Sensoriamento Remoto.
I. Espindola, Giovana Mira de. II. Valladares, Gustavo Souza.
III. Título.

CDD 574.52

MARIANA FONTENELE RAMOS

**DIAGNÓSTICO DAS PERDAS DE SOLO POR EROSÃO PLUVIAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM PETRÔNIO PORTELA, INSERIDA NO
SEMIÁRIDO PIAUIENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí, como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste.

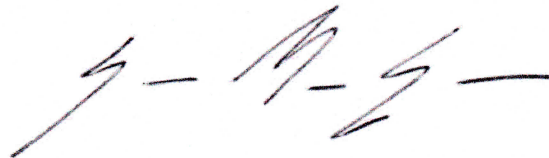
Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Giovana Mira de Espindola

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares

Aprovado em 02 de fevereiro de 2021.

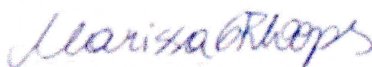
BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Giovana Mira de Espindola (UFPI)
(Orientadora)



Prof^a. Dr^a. Josélia de Carvalho Leão (UESPI)
Examinador Externo



Prof^a. Dr^a. Clarissa Gomes Reis Lopes (UFPI)
Examinador Interno

Dedico este trabalho, com todo o meu amor e gratidão, àqueles que são a minha força e inspiração de vida, meus pais, Francisco e Ivone.

AGRADECIMENTOS

A realização desse mestrado foi um projeto pensado por mim ainda no início de minha graduação em engenharia civil. Confesso que alcançar essa meta parecia algo distante, e quase improvável de ser alcançado. Porém, hoje, após esses 24 meses de estudos e abdições para obtenção do esperado título de Mestre, a minha alma transborda de felicidade e gratidão ao perceber que tudo é possível quando nos dedicamos e acreditamos. Por isso, depois de um extenso caminho percorrido, devemos sempre parar e agradecer até onde conseguimos chegar, afinal a gratidão é um pequeno gesto de agradecimento que vem do coração, é o que nos faz visualizar o mundo com um olhar mais amoroso.

Agradeço primeiramente ao responsável pela minha existência, Deus. Obrigada meu Pai, por nunca desistir de mim e por sempre me amar incondicionalmente. Eu te agradeço pela minha caminhada de derrotas e vitórias, que me fez valorizar a beleza e a efemeridade da vida. Tu és a minha Luz e Salvação e se ao teu lado estou, seguro em tuas mãos e nada temerei!

Agradeço aos meus amados pais, Francisco e Ivone. Escrevo essa mensagem para agradecer por tudo o que fizeram e ainda fazem por mim. Obrigada por me fazerem tão feliz e por sempre estarem do meu lado. Eu jamais teria como compensar todo o sacrifício e dedicação feitos por vocês para que eu me tornasse quem sou hoje. Eu tenho muito orgulho de ser filha de vocês e muita admiração pelos pais que tenho. Essa vitória é de vocês! Amo vocês!

Agradeço aos meus amados irmãos, Pedro Igor e Sália Maria. Agradeço por em todos os momentos de minha vida vocês estarem ao meu lado, me ajudando, me apoiando e me fazendo acreditar que nada é impossível. Talvez por isso eu me sinta tão capaz! Mesmo que as nossas diferenças possam nos afastar uma vez e outra, o amor nos une sempre. Afinal, um irmão é mais que um amigo, é a metade do nosso coração. Tenho muito orgulho de vocês!

Agradeço aos meus familiares, aqui representados pela minha tia Fátima e minha avó Maria de Jesus. Obrigada por me acompanharem nessa jornada com ensinamentos e muito amor. Agradeço em especial à dona Ozana. É um privilégio quando temos ao nosso lado pessoas tão maravilhosas como você. Obrigada por cuidar de mim como uma mãe cuida de um filho! Agradeço a minha sobrinha postiça, Serena. A nossa casa se tornou mais completa com a sua presença. Obrigada por me amar e me fazer tão feliz!

Agradeço a minha amiga Cristiane pelo apoio e amizade. Obrigada por estar ao meu lado nas horas que chorei e nas horas que sorri. É um privilégio poder contar com a sua

amizade! Agradeço aos meus amigos Joice e Matheus pela amizade durante todos esses anos. Obrigada pelo amor concedido a mim, pelos conselhos e por sempre me incentivarem a lutar por meus objetivos. Tenho muito orgulho de vocês!

Aos meus queridos companheiros de turma PRODEMA/2019, em especial os “Pequis”, pelos momentos de descontração ao longo dessa caminhada. Vocês tornaram esses meses bem mais agradáveis e o fardo bem mais leve. Levarei cada um no meu coração!

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, aos professores, coordenadores e funcionários, em especial ao Zezinho. Obrigada por sempre me tratarem tão gentilmente, pela boa vontade e atenção. Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pelo amparo e pela bolsa de mestrado concedida.

Aos membros da banca por seu tempo e disponibilidade, em especial à professora Josélia, que me acompanha desde a graduação. Meus sinceros agradecimentos, em especial, ao professor Gustavo Valladares. Obrigada por aceitar ser meu co-orientador e contribuir de maneira tão positiva com esta pesquisa. Obrigada por seus ensinamentos, orientações e conselhos, que foram essenciais para o meu desenvolvimento profissional e pessoal. Você é um profissional incrível!

Agradeço, finalmente, à Professora Giovana Espíndola. Obrigada por sua orientação, apoio e paciência. Obrigada por confiar em mim desde a seleção de mestrado até a finalização do mesmo. Você é um exemplo de profissional e pessoa, uma inspiração por ensinar com tamanha simplicidade, despertando em mim a vontade de aprender sempre mais. Os seus ensinamentos foram essenciais para a produção dessa pesquisa!

A todos, minha gratidão!

Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.

(Bíblia, Josué 1, 9).

RESUMO

A erosão do solo é um fenômeno natural que ocorre continuamente sobre a superfície terrestre, porém o seu agravamento varia conforme as características ambientais e antrópicas de cada região, tornando-a um problema ambiental. Desse modo, esta pesquisa propõe analisar as perdas estimadas de solo por erosão pluvial na bacia hidrográfica da Barragem Petrônio Portela, localizada no semiárido piauiense, levando-se em consideração a sua caracterização e análise ambiental somadas à transformação temporal de suas condições antrópicas, o que permite obter um conhecimento mais amplo da região. Para isso, apresenta-se o mapeamento das variáveis determinantes para a ocorrência de erosão hídrica na bacia, por meio do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, realizando, também, uma análise de conteúdo sistêmico e interdisciplinar que compreenda os aspectos ambientais e socioeconômicos da região, demonstrando a importância da utilização de bacia hidrográfica como unidade espacial básica para um planejamento ambiental adequado. Depois foram gerados os mapas de perdas de solo por erosão pluvial para os anos de 2005, 2008, 2013 e 2018, através da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE). Dessa maneira, os componentes da RUSLE foram avaliados de forma individualizada por meio dos seguintes fatores: fator R, fator K, fator LS e fator CP. Assim, com os resultados obtidos, a erosividade das chuvas (fator R) foi de $6418,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo classificada como mediana. Os solos da bacia apresentaram um alto potencial de erodibilidade, com o fator K médio equivalente a $0,033 \text{ ton.ha/MJmm}$. Já o fator topográfico (LS) mesmo apresentando uma pequena variação, atingindo a média de 5,65, foi o fenômeno que mais influenciou na espacialização das perdas de solo na bacia em estudo. Quanto ao fator CP, observou-se que a extensão da área com solos expostos e as destinadas às atividades agropecuárias foram as maiores responsáveis pelas variações temporais das taxas de erosão. A bacia apresentou durante os quatro anos analisados, um nível de perda de solo considerado moderado a forte, dos quais 2005 e 2018 apresentaram as maiores perdas por erosão pluvial. Nesta perspectiva, espera-se que a identificação de áreas associadas a processos de erosão acelerada, realizada pelo estudo, forneçam subsídios para a criação de estratégias de planejamento de ações adequadas e associadas ao manejo e conservação dos recursos naturais na bacia hidrográfica da Barragem Petrônio Portela.

Palavras-chave: RUSLE. Geoprocessamento. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Soil erosion is a natural phenomenon that occurs continuously over the earth's surface, but its aggravation varies according to the environmental and human characteristics of each region, making it an environmental problem. Thus, this research proposes to analyze the estimated soil losses due to rain erosion in the hydrographic basin of the Petrônio Portela Dam, located in the Piauí semi-arid, taking into account its characterization and environmental analysis added to the temporal transformation of its anthropic conditions, which allows us to gain a broader knowledge of the region. For this, the mapping of the determinant variables for the occurrence of water erosion in the basin is presented, through remote sensing and geoprocessing, also performing a systemic and interdisciplinary content analysis that understands the environmental and socioeconomic aspects of the region, demonstrating the importance of using a watershed as a basic spatial unit for adequate environmental planning. Then maps of soil loss due to rain erosion were generated for the years 2005, 2008, 2013, and 2018, through the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In this way, the components of RUSLE were individually assessed employing the following factors: R factor, K factor, LS factor, and CP factor. Thus, with the results obtained, the rainfall erosivity (R factor) was 6418.6 MJ mm ha⁻¹ year⁻¹, being classified as median. The basin soils showed a high erodibility potential, with an average K factor equivalent to 0.033 ton.ha / MJmm. On the other hand, the topographic factor (LS), on the other hand, even showing a small variation, reaching an average of 5.65, was the phenomenon that most influenced the spatialization of soil losses in the basin under study. As for the CP factor, it was observed that the extension of the area with exposed soils and those destined for agricultural activities were the main responsible for the temporal variations in the erosion rates. During the four years analyzed, the basin then presented a level of soil loss considered moderate to strong, of which 2005 and 2018 presented the highest losses due to rain erosion. In this perspective, it is expected that the identification of areas associated with accelerated erosion processes, carried out by the study, will provide subsidies for the creation of appropriate action planning strategies associated with the management and conservation of natural resources in the hydrographic basin of the Petrônio Portela Dam.

Keywords: RUSLE. Geoprocessing. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação dos divisores de uma bacia, através do seu corte lateral.....	28
Figura 2 - Equações usadas para a determinação da erosividade das chuvas no Brasil	55
Figura 3 - Localização da área geral de estudo em relação ao Brasil, Estado do Piauí e Semiárido	66
Figura 4 - Pontos amostrais nos municípios que compõe a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, e seus respectivos registros fotográficos em 2020	67
Figura 5 - Trecho do Rio Piauí no município de Jurema.....	68
Figura 6 - Mapa da hidrografia da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela	69
Figura 7 - Unidades litoestratigráficas da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela ...	74
Figura 8 - Compartimentação do relevo da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela	76
Figura 9 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela	83
Figura 10 - Localização dos postos pluviométricos utilizados.....	84
Figura 11 - Precipitação anual para os anos climatológicos entre julho de 1983 e junho de 2018 e sua tendência linear.....	86
Figura 12 - Caatinga arbustiva (a) e Caatinga arbórea (b), encontradas na bacia em estudo...	89
Figura 13 - Barragem Petrônio Portela.....	90
Figura 14 - Captação do Sistema Adutor Garrincho na barragem Petrônio Portela.....	91
Figura 15 - Localização dos postos pluviométricos utilizados para o cálculo da erosividade das chuvas.....	103
Figura 16 - Erosividade (R) e Precipitação (P) mensais da bacia em estudo	106
Figura 17 - Erosividade mensal acumulada da bacia em estudo	107
Figura 18 - Mapa de erosividade média anual da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela.....	108
Figura 19 - Erosão do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo (a) e erosão do solo em Latossolo Amarelo.....	110
Figura 20 - Mapa de erodibilidade dos solos encontrados na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela	111
Figura 21 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela.....	114
Figura 22 - Fator topográfico (LS) da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela.....	115
Figura 23 - Mudanças da vegetação nativa ao longo dos anos (2005-2018) para a bacia em estudo: (a) AI, (b) AGR.	118

Figura 24 - Evolução do uso e cobertura vegetal na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela: (a) 2005, (b) 2008, (c) 2013 e (d) 2018.	119
Figura 25 - Agricultura familiar, cultivo de mandioca, próximo ao município de São Raimundo Nonato (a) e área destinada à pastagem de caprinos, próximo ao município de São Braz do Piauí.	122
Figura 26 - Rio Piauí, no município de Jurema, com ausência de mata ciliar e presença de atividades agrícolas em suas margens.	122
Figura 27 - Deposição de lixo no município de São Braz do Piauí (a) e ocupação urbana em relevos acentuados na cidade de São Raimundo Nonato (b).	123
Figura 28 - Trecho de solo exposto próximo a BR-324 (a), área com solo exposto ocasionado por queimadas, próxima ao município de Anísio de Abreu (b) e (c) estrada vicinal de terra na zona rural de São Raimundo Nonato.	124
Figura 29 - Erosão do solo em área de solo exposto na bacia hidrográfica em estudo	125
Figura 30 - Evolução do perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela: (a) 2005, (b) 2008, (c) 2013 e (d) 2018.	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos levantamentos de dados secundários socioeconômicos utilizados na pesquisa.....	53
Quadro 2 - Classes de uso e cobertura da terra encontradas na bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela e suas respectivas interpretações.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de erosividade mensal da chuva.....	56
Tabela 2 - Classe de erosividade anual da chuva	56
Tabela 3 - Classificação da erodibilidade do solo	58
Tabela 4 - Classificação da declividade	59
Tabela 5 - Valores de referência para o índice de Kappa.....	62
Tabela 6 - Valores de CP utilizados no trabalho	63
Tabela 7 - Classificação do grau de erosão	63
Tabela 8 - Áreas dos municípios inseridos na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela e sua representatividade na bacia	65
Tabela 9 - Características físicas fundamentais da bacia hidrográfica em estudo.....	71
Tabela 10 - Unidades litológicas existentes na bacia em estudo.....	73
Tabela 11 - Classes de solos, associações, suas respectivas características e áreas encontradas na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela.....	77
Tabela 12 - Ficha técnica dos postos pluviométricos utilizados	85
Tabela 13 - Precipitação média mensal (mm) na bacia em estudo (1964-1994).....	85
Tabela 14 - Ficha técnica da estação climatológica de Caracol - PI	86
Tabela 15 - Balanço Hídrico Climatológico da bacia hidrográfica em estudo.....	87
Tabela 16 - Ficha Técnica da Barragem Petrônio Portela	92
Tabela 17 - População total dos municípios que constituem a bacia em estudo – 2000, 2010	93
Tabela 18 - Dados populacionais dos municípios inseridos na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela	94
Tabela 19 - Características gerais da população dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do barragem Petrônio Portela - 2010	95
Tabela 20 - Produto Interno Bruto – 2007 e 2017.....	97
Tabela 21 - Percentuais de estabelecimentos agropecuários	97
Tabela 22 - Percentuais das áreas de estabelecimentos agropecuários por utilização das terras	98
Tabela 23 - Domicílios com serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados (%) – 2000 e 2010.....	99
Tabela 24 - Domicílios com serviços de coleta de lixo (%) – 2000 e 2010	100
Tabela 25 - Evolução do IDH-M dos onze municípios que compõe a bacia em estudo – 2000 e 2010	101

Tabela 26 - Ficha técnica dos postos pluviométricos utilizados para o cálculo da erosividade das chuvas.....	102
Tabela 27 - Precipitações médias mensais e anuais (mm) calculadas através das Estações Baluarte, Campo Alegre de Lourdes, Remanso e São Raimundo Nonato	104
Tabela 28 - Erosividades médias mensais e anuais ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) calculadas através das Estações Baluarte, Campo Alegre de Lourdes, Remanso e São Raimundo Nonato.....	105
Tabela 29 - Tipos de solos encontrados na bacia em estudo e seus correspondentes valores de erodibilidade	109
Tabela 30 - Faixas de declividades da bacia em estudo	112
Tabela 31 - Distribuição das áreas para cada classe de uso e cobertura da terra na bacia em estudo (2005-2018).....	117
Tabela 32 - Matriz de confusão obtida a partir da validação com trabalho de campo	127
Tabela 33 - Áreas ocupadas pelas classes de perda de solos por erosão pluvial e sedimentos gerados por erosão nos anos 2005, 2008, 2013 e 2018 na bacia em estudo.....	130

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FNE	Fundo Constitucional do Nordeste
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RUSLE	Reviewed Universal Soil Loss Equation
SEMAR-PI	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Sistema de Projeção Universal Transverso de Mercator
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1.	Análise da Paisagem	21
2.2.	Bacia hidrográfica como unidade de análise	22
2.2.1.	Políticas de Gestão das Bacias Hidrográficas	24
2.2.2.	Bacia hidrográfica como um sistema físico	27
2.3.	O Semiárido brasileiro	29
2.4.	Erosão do solo	34
2.4.1.	Fatores que influenciam na erosão	36
2.4.1.1.	Clima	36
2.4.1.2.	Tipo de solo	37
2.4.1.3.	Topografia	38
2.4.1.4.	Cobertura Vegetal	38
2.4.1.5.	Ação Antrópica	39
2.4.2.	Erosão hídrica	40
2.5.	Equação Universal da Perda de Solo (USLE)	41
2.6.	Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento	43
3.	MATERIAL E MÉTODOS	46
3.1.	Caracterização física da área de estudo	47
3.1.1.	Delimitação da área de estudo	47
3.1.2.	Hidrografia	48
3.1.3.	Características morfométricas da bacia	48
3.1.4.	Geologia	50
3.1.5.	Geomorfologia	50
3.1.6.	Pedologia	50
3.1.7.	Aspectos hidroclimáticos	50
3.1.8.	Vegetação	52
3.1.9.	A Barragem Petrônio Portela	52
3.2.	Levantamento de dados secundários socioeconômicos	52
3.3.	Erosão do solo na bacia	53
3.3.1.	Erosividade das precipitações (R)	54
3.3.2.	Erodibilidade dos solos (K)	57

3.3.3.	Fator topográfico (LS).....	58
3.3.4.	Fator de uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (CP)	60
3.3.5.	Erosão na bacia em estudo	63
4.	CONTEXTUALIZAÇÃO AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM PETRÔNIO PORTELA.....	64
4.1.	Área de estudo	64
4.2.	Hidrografia.....	68
4.3.	Características morfométricas da bacia.....	70
4.4.	Geologia.....	72
4.5.	Geomorfologia	75
4.6.	Pedologia	77
4.7.	Aspectos hidroclimáticos	84
4.8.	Vegetação	87
4.9.	A Barragem Petrónio Portela.....	89
4.10.	Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela.....	93
4.10.1.	Demografia.....	93
4.10.2.	Economia.....	96
4.10.3.	Saneamento básico	99
4.10.4.	Índice de Desenvolvimento Humano	100
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	102
5.1.	Estimativa da erosão bruta.....	102
5.1.1.	Erosividade das chuvas (R)	102
5.1.2.	Erodibilidade dos solos (K).....	109
5.1.3.	Fator topográfico (LS).....	112
5.1.4.	Fator de uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (CP)	116
5.1.5.	Perda de solo na bacia	127
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
6.1.	Conclusões.....	132
6.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	134
	REFERÊNCIAS	135
	ANEXOS	149
	ANEXO A.....	150
	ANEXO B.....	154

1. INTRODUÇÃO

O desencadeamento de fatores naturais e antrópicos, intensificado pelas atividades agrícolas, habitacionais ou turísticas, coloca no centro dos problemas globais a degradação ambiental. Contudo, segundo Cunha e Guerra (2003), os estudos relacionados à problemática ambiental falham, em sua maioria, por trabalharem de forma desagregada os aspectos ambientais das questões socioeconômicas.

À vista disso, em pesquisas de cunho ambiental, a escolha das bacias hidrográficas como unidades de análise e planejamento favorecem uma investigação integrada das variáveis do quadro físico e humano que as compõe, permitindo um maior conhecimento acerca dos fenômenos resultantes da interrupção do equilíbrio do meio ambiente. O estudo integrado dos solos, geologia, relevo, vegetação, pluviosidade e uso da terra em uma bacia hidrográfica contribui para o entendimento de suas potencialidade e fragilidades e, é o primeiro passo na busca de um desenvolvimento sustentável do ponto de vista social e ambiental (PEREIRA; SANTOS; SOUSA, 2017).

É importante ressaltar que a problemática ambiental em bacias hidrográficas localizadas em regiões semiáridas, como no caso da bacia da Barragem Petrônio Portela, inserida no sudeste piauiense, é agravada em razão do quadro ambiental vulnerável, onde os recursos hídricos, solo e vegetação sofrem intensa degradação, aumentando assim a sua susceptibilidade (CAJUÍ, 2018). Em razão disso, percebe-se que o desconhecimento da complexidade do semiárido ocasionou a introdução de práticas econômicas e tratos culturais inadequados que provocam desequilíbrios ambientais (ALENCAR, 2018).

Nascimento (2012) destaca que as bacias de drenagem situadas em regiões de semiárido geralmente são do tipo intermitentes sazonarias, ou seja, apresentam um quadro de escassez hídrica espaço-temporal, além de apresentarem regimes e dimensões diferenciadas em razão de seu tamanho, localização das nascentes dos exutórios, condições ambientais e das formas de uso e cobertura das terras.

Vale destacar também que, uma das maiores preocupações relacionadas a essas bacias é a gestão de seus recursos hídricos. Dessa forma, observa-se que um dos sistemas mais utilizados para o armazenamento de água, nessas regiões, é a construção de reservatórios hídricos, tais como as barragens. Trata-se, então, de um dos sistemas de engenharia mais antigos da região, cujo objetivo é a satisfação das necessidades básicas, relacionadas ao abastecimento humano e animal, bem como para o desenvolvimento dos diversos polos de

atividades econômicas e concentração social (PEREIRA NETO, 2017). Entretanto, a utilização desses empreendimentos trás a tona alguns problemas ambientais, devido, sobretudo, ao manejo inadequado do solo.

Sabe-se que o solo é um dos recursos naturais mais utilizados pelo homem. Esse recurso é importante não somente como suporte para culturas agrícolas e florestas, do mesmo modo promove de maneira direta ou indireta a conservação do equilíbrio ecológico e biológico de determinada área ou região (MOURA *et al.*, 2017). O manejo inadequado do solo, ao longo dos anos, acima de sua capacidade de suporte, tem propiciado condições acentuadas de degradação ambiental, uma delas é a erosão pluvial do solo (GOMES, 2011).

Entende-se por erosão pluvial ou hídrica como sendo a retirada de material da parte superficial do solo pelas águas resultantes da chuva, deixando-o suscetível ao carregamento por enxurradas (MOREIRA; CHAVES; LIMA, 2009). Moura *et al.* (2017) acrescentam que a erosão do solo é um processo que ocorre em três fases, a desagregação do solo, o transporte desse material efetuado pelos agentes erosivos e a deposição do material transportado.

É importante destacar que o agravamento da erosão pluvial do solo varia conforme as características ambientais e antrópicas de cada região. Dentre as ações resultantes das atividades humanas que podem intensificar os riscos de erosão está a ocupação do solo, ausente de planejamento, devido a existência de excessivas áreas sem cobertura vegetal, resultando na redução da taxa de infiltração das águas da chuva (BOLINA *et al.*, 2017).

Sabe-se que as consequências dos processos erosivos são diversas, destacando-se a curto prazo a perda da fertilidade dos solos e a longo prazo o assoreamento dos cursos d'água ou reservatórios, como é o caso das barragens, resultado do aumento no aporte de sedimentos (ISSA *et al.*, 2014). De acordo com Guimarães e Santos (2007), as implicações da erosão pluvial nas barragens podem ser até mesmo irreversíveis. Diminuição da qualidade de água para os diferentes usos, perda da capacidade de armazenamento e do potencial de geração de energia elétrica, aumento da concentração de nutrientes ou elementos considerados tóxicos na água, resultantes de sedimentos transportados ou mesmo diluídos na água de escoamento, são alguns dos exemplos do que acontece nesse tipo de ambiente aquático, uma vez que a resiliência é considerada baixa, devido às baixas velocidades de escoamento ou inexistência de fluxos de descarga ou saída.

Desse modo, o mapeamento e a avaliação da erosão pluvial do solo representam alternativas vitais para atividades de gestão e manejo dos recursos naturais em bacias hidrográficas e, isso permite a implantação de políticas de uso e manejo desses recursos de maneira sustentável (DURÃES; COELHO FILHO; OLIVEIRA, 2016). O controle e o

monitoramento da erosão do solo são ferramentas essenciais para o estabelecimento de qualquer uso do solo, sendo um aspecto primordial para as ações de planejamento do território e para a gestão eficiente dos recursos naturais (DÉSTRO; CAMPOS, 2006).

Nesse sentido, este estudo tem como objetivo geral analisar as perdas estimadas de solo por erosão pluvial na bacia hidrográfica da Barragem Petrônio Portela, localizada no semiárido piauiense, através de sua caracterização e análise ambiental somadas à evolução temporal das contribuições antrópicas, permitindo obter um conhecimento mais amplo da região analisada. Os objetivos específicos estão descritos a seguir:

- Discutir a importância da utilização de bacias hidrográficas como unidades de gestão e gerenciamento dos recursos naturais para um planejamento ambiental adequado;
- Caracterizar os aspectos ambientais e socioeconômicos da bacia hidrográfica da Barragem Petrônio Portela, através de levantamento bibliográfico, detectando suas limitações e potencialidades;
- Elaborar mapas temáticos para a bacia, considerando os aspectos que contribuem para a ocorrência da erosão do solo, sejam naturais ou antrópicos;
- Criar mapas de perdas estimadas de solo por erosão hídrica para a bacia hidrográfica da Barragem Petrônio Portela, por meio da utilização da versão revisada da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE), em diferentes anos, incorporando-se a dinâmica de uso e cobertura da terra;
- Discutir os mapas de perdas estimadas de solo com base nos contextos territoriais, através do uso e cobertura das terras, da bacia em estudo.

Como maneira de organização estrutural, essa pesquisa é composta por um primeiro capítulo que contém, a introdução e os objetivos geral e específicos. O segundo aborda o referencial teórico, utilizado como fundamentação. O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos empregados para a realização desse estudo.

O capítulo 4 consiste em uma análise espacial da bacia em estudo, apresentando a sua caracterização ambiental e socioeconômica. Já o capítulo 5 incluirá os resultados e discussões sobre as estimativas do potencial erosivo da bacia de drenagem da Barragem Petrônio Portela. No capítulo 6 serão apresentadas as considerações finais e as recomendações do estudo. Por fim, é apresentado o referencial bibliográfico que fundamentou todo o trabalho e os Anexos utilizados. Vale ressaltar que, esse estudo tem o objetivo de divulgar os resultados obtidos através de artigos científicos de relevância na área de Ciências Ambientais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Análise da Paisagem

O conceito de paisagem, sua definição e contexto são discutidos e empregados nos inúmeros campos dos saberes. A análise de uma paisagem reflete seu equilíbrio ambiental ou atesta o seu desequilíbrio, podendo representar um fator de estímulo à preservação do seu entorno ou um alerta a sua degradação. Sendo assim, a paisagem pode ser considerada um sensor de qualidade ambiental (EMÍDIO, 2006).

De acordo com Barbosa (2013), a paisagem constitui-se em uma porção do espaço que frequentemente atravessa processos de transformações que resultam, a todo instante, à necessidade de se realizar uma avaliação mais específica dos ambientes que a compõe. Essa porção do espaço não é fruto de uma simples adição de elementos geográficos disparatados, mas sim é resultado da combinação dinâmica e instável de elementos antrópicos, físicos e biológicos, fazendo da paisagem um conjunto indissociável e único, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004).

Na perspectiva de Bertrand (2004) a paisagem é definida pelo conjunto dos fatores naturais e das transformações humanas, que estão em constante mudança. Caracterizando-se pela acentuada modificação, o estudo da paisagem está diretamente relacionado com a natureza e, sobretudo com a relação do homem com esta. Vale ressaltar que, o estudo da paisagem, ao longo dos anos, gradativamente foi acrescido à ideia de ecossistema, ligado ao desenvolvimento sustentável e às questões ambientais (MARTINS; FREITAS, 2014). Barbosa (2013) acrescenta que, assim, o estudo da paisagem deve ser compreendido como uma base para a organização dos espaços, proporcionando a otimização do uso racional dos recursos naturais.

Segundo Estêvez *et al.* (2011), através do estudo da paisagem é possível que sejam reconhecidas suas estruturas verticais e horizontais, bem como sua dinâmica evolutiva. Desse modo, a compreensão da paisagem deve estar sob o enfoque do planejamento das atividades humanas, tendo como base teórica metodológica os pressupostos do planejamento da paisagem. Kiemstedt *et al.* (1998) acrescentam que o planejamento da paisagem possui como principal vantagem a elaboração de documentos que orientam a tomada de decisões sobre o planejamento local. Nesse contexto, evidencia-se três principais tópicos relacionados ao planejamento: a proteção e desenvolvimento de recursos potenciais para oferecer amenidade,

a proteção e desenvolvimento dos recursos da flora e da fauna e a proteção e o desenvolvimento dos recursos água, solo e clima.

É importante mencionar que a análise de uma paisagem ganha relevância na medida em que o entendimento acerca da natureza vem sendo compreendido como as interações de diversos fatores ambientais, sociais e econômicos que, de formas temporais, espaciais e dinâmicas, conduzindo as metodologias que apontem para um conhecimento maior das interações e processos que ocorrem na natureza (MELO, 2018).

A análise de uma paisagem pode ser realizada por meio de diferentes métodos, propiciando ao pesquisador traçar uma trajetória de tudo que já se passou no espaço estudado e, especialmente, vislumbrar qual será o futuro deste. Para a análise de uma paisagem, uma unidade de estudo frequentemente utilizada é a bacia hidrográfica. As bacias hidrográficas, consideradas como unidades naturais, permitem, mediante a diferenciação de paisagens, entrelaçar os fatores químicos e físicos, bem como os agentes naturais presentes na sua dinâmica com a ação do homem. Isso permite a geração de um parecer concreto sobre o real estado de degradação da área em questão e das suas proximidades (MARTINS; FREITAS, 2014).

2.2. Bacia hidrográfica como unidade de análise

A acumulação do capital e o incentivo ao consumo constituem uma das premissas relativas ao sistema capitalista. Com a consolidação desse sistema, a problemática ambiental ganhou ênfase ao longo dos anos, principalmente a partir da década de 1980 com o surgimento do processo de Globalização, cujo objetivo era homogeneizar as civilizações do mundo, tendo como base os moldes da população norte-americana (PEREIRA; CURI, 2012).

Segundo Garcia e Leal (2012), diante das condições desenvolvimentistas da humanidade, atreladas ao mau uso do meio ambiente, a degradação dos recursos naturais, que é marcada por interesses de diversos atores sociais e intensos conflitos, tornou-se um dos maiores problemas a assolar a humanidade. É importante ressaltar que a degradação dos recursos naturais é causada principalmente pelo manejo inadequado desses recursos, tanto em espaços rurais como em urbanos. Assim, conseqüentemente, a humanidade assiste a toda uma variedade de impactos, tais como os desmatamentos, a poluição, a desertificação, erosão dos solos e, entre outros (CUNHA; GUERRA, 2003).

De acordo com Santos (2004), para o manejo dos recursos naturais de maneira sustentável, deve-se adotar instrumentos de planejamento ambiental, que possibilitem a

utilização desses recursos racionalmente, aplicando os aspectos da preservação e da conservação dos sistemas naturais. O planejamento ambiental permite a organização, a coleta e a análise sistematizada das informações, através de métodos e procedimentos, buscando as melhores alternativas para o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis.

O termo planejamento ambiental surgiu da necessidade de estruturar os usos da terra, de compatibilizar esses usos com a proteção de ambientes advertidos e de melhorar a qualidade de vida da população. Desse modo, essa forma de planejamento ampara-se na integração e interação dos sistemas que compõem o ambiente, tendo a função de estabelecer as relações entre os sistemas ecológicos e os processos da sociedade, dos interesses econômicos e das necessidades socioculturais das atividades, a fim de manter a máxima integridade possível dos seus elementos componentes (SANTOS, 2004). Honda *et al.* (2015) informam que o planejo ambiental é um procedimento de extrema relevância para os espaços, pois auxilia em sua ocupação racional e no equilíbrio ambiental.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica se torna, a cada dia, a unidade espacial básica para o planejamento ambiental. Isso porque o estado de conservação de uma bacia hidrográfica espelha o estado dos elementos que compõem a dinâmica natural terrestre e os processos a ela relacionados. Vale destacar que os diferentes níveis de qualidade ambiental encontrados em uma bacia são variáveis no tempo, refletindo as demandas e a utilização dos recursos naturais pela sociedade.

À vista disso, as modificações impostas na paisagem resultantes das intervenções antrópicas, proporcionam impactos que se estendem por toda a bacia, uma vez que seus componentes físico-ambientais encontram-se em equilíbrio dinâmico (BOTELHO; SILVA, 2004). Morais (2018) complementa que o planejamento ambiental das bacias hidrográficas significa um desafio na forma de encarar a problemática ambiental, devido, sobretudo, à complexidade dos fenômenos analisados.

A determinação dos impactos ambientais e o reconhecimento do estágio de degradação e conservação que uma bacia hidrográfica se encontra representa no processo de gestão ambiental em um importante passo, permitindo reconhecer as fragilidades e as potencialidades do ambiente, apresentando, também, modelos de ocupação e alternativas de uso dos recursos naturais. Dessa forma, os estudos das bacias hidrográficas constituem um elemento essencial para a gestão dos recursos naturais de maneira sustentável, ou seja, de maneira a assegurar o seu equilíbrio ambiental. Isso porque o uso indiscriminado dos recursos naturais e a ocupação desordenada provocam rigorosas mudanças na paisagem das bacias, refletindo na redução da capacidade produtiva dos solos, no desencadeamento de processos

erosivos, na alteração do comportamento hidrológico, dentre outros processos associados (MORAIS, 2018).

De acordo com Tundisi (2003), a escolha da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento e planejamento enfatiza a integração social e econômica, representando um conceito muito importante e integrado da ação. As características provenientes da bacia hidrográfica a tornam um exemplo para a concretização de um estudo integrado, funcionando como um importante instrumento de gerenciamento de recursos naturais, decisões políticas relevantes para o meio ambiente e ética ambiental.

As bacias hidrográficas são sistemas abertos, dinâmicos, abrangendo todos os organismos de modo que funcionem em conjunto, agindo mutuamente em uma determinada área somada aos demais elementos. Por conta disso, é importante que sejam consideradas as características naturais da bacia, considerando-a como um todo e analisando-a de forma sistêmica, uma vez que essas características refletem os diversos processos de sua evolução, determinando sua capacidade de suporte a ocupação, possibilitando o melhor aproveitamento dos recursos naturais, servindo assim como um instrumento para gestão e planejamento (GOMES, 2011).

É importante destacar também que, o planejamento e o gerenciamento em uma bacia hidrográfica ultrapassam as barreiras políticas entre municípios, estados e países. De forma a concretizar uma unidade física de análise sistemática e gestão, promovendo o desenvolvimento econômico e social. Isso, porque a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento favorece a conservação e preservação ambiental, estimulando a integração da comunidade e de instituições, propiciando um conjunto de indicadores, fornecedores de índices de qualidade (CAZULA; MIRANDOLA, 2010).

2.2.1. Políticas de Gestão das Bacias Hidrográficas

Segundo Lima *et al.* (2016), o histórico da gestão das bacias hidrográficas no Brasil evoluiu em companhia com as mudanças ocorridas na legislação, que ao longo dos anos passou a valorizar os recursos naturais através de vários mecanismos. Seguindo uma tendência mundial, foi a partir da década de 70 que o país experimentou uma grande evolução em suas políticas de meio ambiente, resultando na implantação de um extenso arcabouço legal e institucional de gestão ambiental (RAMOS, 2007).

Vilaça *et al.* (2009) destaca que foi no final da década de 90, com a apresentação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, advinda da Lei Federal nº 9.433 de 1997, também

conhecida como a Lei das Águas, que a bacia hidrográfica constituiu um processo descentralizado de proteção ambiental e conservação, tendo sido adotada como unidade física de reconhecimento, caracterização e avaliação dos recursos hídricos. Nesse contexto, a sua divisão em territórios menores, as chamadas sub-bacias, favoreceu a transformação de problemas difusos em locais, possibilitando seu monitoramento, identificação, mitigação e controle, permitindo, também, a priorização de ações de gestão.

Conforme apontado por Porto e Porto (2008), foi através da Política Nacional dos Recursos Hídricos que a água tornou-se um bem de domínio público, sendo dotada de valor econômico, possuindo como uso prioritário o abastecimento humano e a dessedentação de animais e, cuja gestão deve tomar como unidade territorial a bacia hidrográfica. Conseqüentemente, as bacias hidrográficas tornaram-se uma unidade importante que favorece o estudo da dinâmica em relação ao uso e à ocupação de sua área, resultando no reconhecimento e no estudo das inter-relações existentes entre os diversos elementos e processos que atuam no seu limite e na caracterização dos impactos ambientais (VILAÇA *et al.*, 2009).

De acordo com Nascimento e Vilaça (2008), a política de gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas tem como benefício a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento e planejamento, característica frequente e necessária aos estudos de caráter ambiental para a garantia da visão sistemática. Ressalta-se, também, que essa política de gestão, através da interposição da administração das bacias, minimiza os conflitos baseados em interesses particulares. Tais conflitos são uma desvantagem do uso de bacias como unidades de planejamento, uma vez que normalmente os limites municipais e estaduais não correspondem ao dos divisores naturais da bacia e, conseqüentemente a divisão espacial de algumas relações causa-efeito no que tange aos aspectos políticos e econômicos não tem seus impactos causados no local de origem.

Desse modo, a gestão dos recursos hídricos estabelecida pela Política Nacional de Recursos Hídricos é bastante descentralizada e prevê a participação de diferentes setores usuários, sendo composta por diversos órgãos ligados entre si por uma relação hierárquica. Em linhas gerais, o gerenciamento das águas de uma bacia hidrográfica é realizado por meio de comitês e das agências de bacia e não através da demarcação política de municípios e estados (SOUZA *et al.*, 2014).

Contudo, apesar da Lei 9.433 ter determinado a gestão dos recursos hídricos por bacias hidrográficas, anteriormente a ela, a Constituição Brasileira definiu a dominialidade desses recursos não em função da bacia em que estão inseridos, mas sim por corpos d'água. A

Constituição define dois níveis de domínio, os bens estaduais e os bens da União, caso os corpos d'água banhem somente um ou mais de um estado. Conseqüentemente, isso é um dos principais fatores que tornam extremamente complexa a montagem do sistema brasileiro de gestão de recursos hídricos. Esta questão poderia ser resolvida se ocorresse a abdicação por parte dos estados e da União às incumbências relativas à gestão e sua transferência para os entes gestores definidos na Lei das Águas: Comitês e Agências de bacia (RAMOS, 2007).

Para Lima e Nery (2017) esses desafios sobre a governança dos recursos hídricos em bacias interestaduais devem ser enfrentados, uma vez que considerar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento é a melhor alternativa para que sejam elaboradas políticas públicas mais próximas aos processos de funcionamento da natureza. Entretanto, do ponto de vista da governança, alguns dos desafios de conceber a bacia hidrográfica como unidade de gestão das águas, é compreender, também, as relações sociais, ambientais, políticas, econômicas, culturais e institucionais que se dão no âmbito do território da bacia hidrográfica.

Isso porque os planos de gestão de bacias hidrográficas podem acarretar, em problemas de ordem social, ambiental, político, econômico e cultural, por abordarem, na maioria das vezes, somente o aspecto da utilização dos recursos hídricos nas bacias, em atividades tais como irrigação e geração de energia. Assim, essas políticas não devem se restringir apenas à utilização dos usos múltiplos da água, pois a capacidade do meio ambiente em dar suporte ao desenvolvimento possui sempre um limite, no qual todos os outros aspectos serão afetados inevitavelmente (GUERRA, 2006).

Para Vilaça *et al.* (2009), as políticas de gestão das bacias hidrográficas são essenciais por considerarem a mudança de paradigma de um sistema setorial, local e de resposta à crise para um sistema preditivo, integrado e em nível de ecossistema. Nascimento e Vilaça (2008) ressaltam que essas políticas atravessam as barreiras das políticas tradicionais (sejam municipal, estadual e federal) para unidades físicas de gerenciamento e de desenvolvimento econômico e social.

Nesse cenário, o gerenciamento integrado das bacias deve proporcionar uma visão integral do território, incluindo diversos aspectos, tais como políticas públicas, de educação e tecnológicas, com o intuito de promover um processo a longo prazo com participação de autoridades, usuários e do público em geral, além das organizações e instituições públicas e privadas (VILAÇA *et al.*, 2009).

Porto e Porto (2008) afirmam que, em termos práticos, as políticas de gestão de bacias hidrográficas dependem de instrumentos que possam ser desenvolvidos e aplicados de forma a atender os desejos da comunidade, nos limites impostos pela aptidão natural das

bacias hidrográficas, seja para o atendimento de objetivos de preservação ambiental, ou seja, na perspectiva mais utilitarista, idealmente na medida equilibrada que é requisitada para a garantia da sustentabilidade, a médio e longo prazo. Assim, apenas com a plena e concreta aplicação dos instrumentos de gestão é que se pode avaliar se tal sistema está corretamente implantado e qual seu grau de eficácia.

2.2.2. Bacia hidrográfica como um sistema físico

Levando em consideração Silveira (2013), pode-se considerar uma bacia hidrográfica como sendo uma área de captação natural da água resultante da precipitação, fazendo convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o chamado exutório. A bacia hidrográfica é composta, basicamente, por um conjunto de superfícies vertentes e por uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um único leito no exutório, resultando na interação da água com os mais variados recursos naturais, tais como topografia e vegetação (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

Paz (2004) afirma que a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico, na qual o volume de água precipitada representa a entrada desse sistema e, cuja saída é o volume de água escoado pelo exutório. Contudo, não é todo o volume de água precipitada que se torna escoamento no exutório ou fica armazenada na própria bacia, por isso considera-se a bacia hidrográfica um sistema aberto. Isso, porque ocorrem as perdas intermediárias relacionadas aos volumes transpirados pela vegetação, evaporados ou infiltrados profundamente. Dessa forma, esses volumes de água correspondem à parcela da entrada no sistema que é “perdida” para as camadas profundas do subsolo ou para a atmosfera.

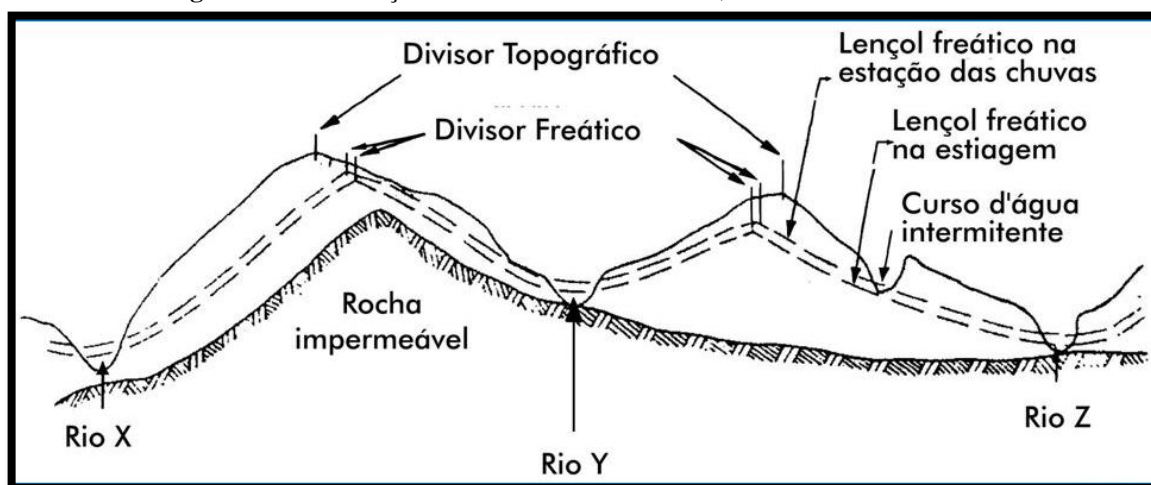
Uma bacia hidrográfica, de acordo com Villela e Mattos (1975), é necessariamente delimitada por um divisor natural, no qual é assim designado por ser a linha de separação que possui a função de dividir as precipitações que caem em bacias vizinhas, encaminhando o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. A linha rígida em torno da bacia é seguida pelo divisor, atravessando, somente no ponto de saída, o curso d'água.

Paz (2004) orienta que a rigor existem três tipos de divisores de bacias: o divisor geológico, baseado nas características geológicas; o divisor freático, em função da posição do lençol freático, ou seja, do nível das águas subterrâneas no subsolo; e o divisor topográfico, estabelecido de acordo com o relevo. Entretanto, devido a não praticidade no estabelecimento dos divisores freático e geológicos e à falta de informações, geralmente emprega-se, para identificar e delimitar uma bacia, apenas os divisores topográficos. À vista disso, o divisor

topográfico irá unir os pontos que possuem a máxima cota entre as bacias, porém isso não impede que no interior dessas existam picos isolados com cota superior a qualquer ponto encontrado no divisor (VILLELA; MATTOS, 1975). A Figura 1 exemplifica quais os tipos de divisores naturais de uma bacia hidrográfica.

Paz (2004) ressalta que também é importante ter em mente o conceito de “bacias dentro de bacias”. Assim, de acordo com a escala utilizada e, principalmente conforme o interesse do estudo a ser realizado, serão tomadas as bacias “maiores” ou as micro-bacias e sub-bacias. Porto e Porto (2008) completam que o tamanho ideal de uma bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática a ser abordada, como exemplo se tem as bacias hidrográficas de barragens, que possuem nesta o seu exutório. No caso do Brasil, a divisão do seu território em sub-bacias ocorreu no ano de 1972, proposto pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), com o objetivo de melhorar a oferta de dados à população.

Figura 1 - Identificação dos divisores de uma bacia, através do seu corte lateral



Fonte: Villela e Mattos, 1975.

Através da investigação de bacias hidrográficas, reconhecer e estudar as interações existentes entre os inúmeros elementos da paisagem, nas mais variadas escalas de trabalho, tornou-se possível. Nesse sentido, as bacias hidrográficas, hoje, representam a melhor unidade de pesquisa, investigação, planejamento e gestão dos recursos naturais (GUERRA *et al.*, 1999). Christofletti (1980) acrescenta que tais regiões por serem sistemas dinâmicos e abertos, ocorrendo trocas constantes de matéria e energia, são excelentes opções de investigação.

2.3. O Semiárido brasileiro

O semiárido brasileiro é uma região que ocupa uma área de, aproximadamente, 1.142.193,50 km² que abrange um total de dez estados, sendo a maior parte desses localizados no Nordeste do país, aproximadamente 90%. O semiárido é constituído pelos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, região central da Bahia, a maior parte de Pernambuco e Paraíba, oeste de Sergipe e Alagoas, ampla extensão do Piauí e uma faixa que se estende no norte do Espírito Santo e Minas Gerais (AGUIAR *et al.*, 2019). No estado do Piauí, o semiárido engloba cerca de 185 municípios, possuindo uma extensão territorial de 202.915,8 km², o que equivale a 79,6% do estado piauiense e uma população aproximada de 2,8 milhões de habitantes (BRASIL, 2017).

A região semiárida é, juridicamente, decorrente de uma norma do Art. 159, da Constituição brasileira de 1988, que apresenta como preceito básico a aplicação de 50% dos recursos do Fundo Constitucional do Nordeste (FNE) nessa área (BRASIL, 1988). Contudo, foi através da Lei nº 7.827, de 1989, existente na Constituição Federal, que se definiu a região do semiárido brasileiro, inserindo-a na área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (TRAVASSOS; SOUZA; SILVA, 2013).

Travassos, Souza e Silva (2013) acrescentam que a partir da edição da Portaria Interministerial Nº 6, do ano de 2004, assinada pelos Ministérios do Meio Ambiente e da Integração Nacional, o semiárido passou por uma nova delimitação. O Grupo de Trabalho Interministerial utilizou três critérios técnicos sobrepostos para a nova delimitação do semiárido brasileiro: a) Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; b) Índice de aridez de até 0,50, medido através do balanço hídrico que relaciona a evapotranspiração potencial e as precipitações, no período entre 1961 e 1990; c) Risco de seca maior que 60%, tendo-se por base o período entre 1970 e 1990 (PEREIRA JÚNIOR, 2007).

É importante destacar que, um dos fatores mais marcantes da paisagem semiárida é a vegetação de Caatinga, tratando-se do único bioma exclusivamente brasileiro, que apresenta enorme variedade paisagística, endemismo e relativa riqueza biológica (BARBOSA, 2010). A Caatinga, que na língua indígena significa “mata branca”, segundo Silva (2006), trata-se de um bioma com elevada biodiversidade, na qual ocorre com evidência a vegetação xerófila, com raízes espalhadas com a função de capturar o máximo de água durante as chuvas, caules suculentos para armazenar água e folhas pequenas que reduzem a transpiração. Além das cactáceas, destacam-se espécies arbustivas, arbóreas e herbáceas.

De acordo com Silva *et al.* (2010), estudos recentes, contemplando levantamentos de fauna e flora, revelaram que a Caatinga deve ser considerada como um patrimônio de valor biológico incalculável, uma vez que possui um número significativo de espécies endêmicas. Vale ressaltar que a Caatinga é julgada como um dos biomas brasileiros mais ameaçados. Isso ocorre devido à ausência de informações acerca do bioma e levando-se em conta que essa região é considerada como o semiárido mais densamente populoso do mundo, a pressão antrópica tem ocasionado a utilização inadequada e insustentável de seus recursos naturais.

Um outro ponto a evidenciar é que o semiárido se caracteriza, também, pelo predomínio de escassez de chuvas anuais, irregularidade ao longo dos anos no ritmo das precipitações, temperaturas médias anuais constantes e muito elevadas, baixos níveis de umidade em períodos prolongados, solos problemáticos do ponto de vista geoquímico (solos carbonáticos, solos parcialmente salinos) e físico e ausência de rios perenes (AGUIAR *et al.*, 2019). Essa escassez de rios perenes no semiárido pode ser explicado pelo pobre volume de escoamento de água dos rios, em razão da variabilidade temporal das chuvas e das características geológicas dominantes, onde há o predomínio de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e conseqüentemente baixas trocas de água entre o solo adjacente e o rio (CIRILO, 2008).

Uma das particularidades mais importantes do semiárido é o seu clima, principalmente devido à ocorrência de secas periódicas e estacionais (MENDES, 1997). Conforme Silva *et al.* (2010) a precipitação pluviométrica nessa região é marcada pela variabilidade interanual, que, associada aos baixos valores totais anuais de chuva, variando em média de 300 a 800 mm, é considerada um dos principais fatores para a ocorrência de “secas”.

Albuquerque (2012) explica que, a precipitação no semiárido brasileiro não é considerada pouca quando comparada à ocorrência de chuvas nos países temperados. Para o autor, a problemática da seca, observada na região, é resultado da alta variabilidade das chuvas, isto é, na estação chuvosa as precipitações se convergem em alguns meses ou até mesmo semanas, verificando, inclusive, variação de chuvas entre anos consecutivos, tudo isso acrescentado às altas taxas de evapotranspiração.

Ao examinar o semiárido brasileiro, encontra-se, dessa maneira evidente a heterogeneidade ambiental. Dessa forma, qualquer uma das estações da região, chuvosa ou seca, pode se prolongar, durando mais que o período considerado normal, podendo ocorrer, também, chuvas erráticas durante a estação seca e secas durante a estação chuvosa (veranicos). Assim, estes modelos de distribuição das precipitações atuam como uma força

exclusiva, uma vez que influenciam no comportamento reprodutivo das plantas e causam mortalidade diferenciada nas populações, instituindo fatores-chave na dinâmica ecossistêmica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Todas essas singularidades naturais encontradas em regiões semiáridas merecem relevância governamental diferenciada, uma vez que de forma recorrente estão relacionadas a duas questões que contribuem para agravar suas fragilidades. Uma delas está ligada ao desconhecimento da “originalidade” que compõe seu complexo geográfico, implicando no desconhecimento das alternativas de desenvolvimento consentâneo com a realidade regional. A outra se refere à instalação de projetos econômicos que busquem o desenvolvimento da região semiárida desconsiderando a realidade ambiental local ou regional (AB’SÁBER, 1999).

Por essa razão, reitera-se o conceito de bacia hidrográfica, constatando a importância desse espaço como unidade territorial. Ao que se compreende, as bacias hidrográficas devem ser consideradas institucionalmente como unidades básicas de planejamento territorial para todos os conteúdos que envolvem os interesses da sociedade civil, sejam privados ou públicos, principalmente no semiárido por ser uma paisagem geográfica com unidades geoambientais que apresentam muita vulnerabilidade, sobretudo à escassez de água, característica da região. A adoção de bacia hidrográfica como estratégia de planejamento diminuiria as sobrecargas de gestão, além de possibilitar a criação de oportunidades para a variável ambiental ser considerada na adoção de políticas públicas ou ações governamentais (PITOMBEIRA, 2015).

Pitombeira (2015) acrescenta que o planejamento territorial no semiárido, amparado em bacias hidrográficas, possibilitaria a sua implementação, considerando o desiderato legal de ser a unidade territorial para a política de recursos hídricos e inter-relacionando com outras unidades administrativas. A ideia central é que nas regiões semiáridas as diferenças ambientais, sociais e econômicas existentes nesses territórios sejam percebidas, promovendo ações governamentais baseadas na problemática local, resultando em benefícios para a população desses espaços.

Segundo Garjulli (2003), enquanto no semiárido brasileiro as intervenções governamentais se limitarem a ações que não impliquem em mudanças estruturais, como é o caso da não utilização das bacias de drenagem como unidades de planejamento territorial, a região continuará tendo o mau uso de seus recursos naturais e seu processo de desenvolvimento comprometido. Isso porque a política pública, principalmente de águas, no semiárido sempre foi marcada pela intervenção do Estado de maneira centralizada, com ações

fragmentadas e a criação de órgãos nacionais para o combate à seca (ARCILA, 2014). Cabe, então, aos comitês de bacias hidrográficas um papel estratégico nesse processo de intervenção governamental, principalmente para garantir a sustentabilidade hídrica no semiárido, do ponto de vista quantitativo e qualitativo eliminando os vícios do aparato estatal ou da própria população local (GARJULLI, 2003).

Sabe-se que as bacias hidrográficas inseridas em regiões semiáridas evidenciam a vulnerabilidade física desse espaço e a sua dependência hídrica. Em decorrência dessa realidade, no semiárido brasileiro, mais especificamente no nordestino, existe um conjunto de tecnologias de construção e manutenção que possibilitam o aproveitamento da água das chuvas e dos rios, viabilizando o seu uso para as mais variadas funções (LIMA *et al.*, 2013). Dentre essas tecnologias, estão as barragens, que são os principais mecanismos de combate aos efeitos da seca, armazenando volumes de água para um uso posterior (FONTENELLE *et al.*, 2018).

Segundo Assunção e Livingstone (1993), sucessivos governos preocuparam-se com o problema de falta de água no semiárido brasileiro. Isso, porque a escala e as consequências das secas provocam diversos problemas sociais e econômicos, tais como miséria aguda, perda de vida humana, de animais e de culturas. Nesse contexto, a política de construção de barragens se baseou no conceito de que, desde que a seca é uma problemática da falta de água, a situação deve ser resolvida com o armazenamento desse recurso em grandes quantidades, ou seja, buscando-se uma solução hidráulica. É importante destacar que a crise de água no semiárido brasileiro resulta não somente da baixa precipitação pluviométrica, como também da intervenção altamente predatória nesse espaço, levando a um fenômeno marcadamente estrutural de políticas seladas pela visão conjuntural que induzem ao cultivo do problema (REBOUÇAS, 1997).

De acordo com Rebouças (1997), o armazenamento de água através do sistema de barramento no semiárido iniciou a partir das secas de 1825, 1827 e 1830. Assim, a partir de tal sistema a preocupação com o potencial hídrico do sertão brasileiro ganhou relevância, no qual também houve o surgimento da preocupação pela busca de conhecimento de tais potenciais de forma a minimizar o quadro de pobreza amplamente manipulado e sofridamente tolerado pela população da região.

Dessa forma, a construção de reservatórios hídricos, no semiárido do Brasil, surge como sendo uma das primeiras políticas ambientais de mitigação ou combate dos efeitos produzidos pelo fenômeno da seca. Trata-se, então, de um dos sistemas de engenharia mais antigos da região, cujo objetivo é a satisfação das necessidades básicas, relacionadas ao

abastecimento humano e animal, bem como para o desenvolvimento dos diversos polos de atividades econômicas e concentração social (PEREIRA NETO, 2017).

Para Assunção e Livingstone (1993), os projetos de construção de barragens geralmente obedecem a um modelo comum, sem que haja a incorporação de uma avaliação rigorosamente econômica, dando apenas indicações vagas acerca dos usos futuros para as águas acumuladas. Assim, no semiárido brasileiro, somente depois da construção das barragens para a amenização dos efeitos das secas, projetos foram feitos, em um ritmo lento, e ainda assim para uma minoria de casos, para o abastecimento de água de zonas rurais e urbanas, a exploração da irrigação de culturas, o cultivo das áreas de montante, a perenização de rios, entre outros.

No estado do Piauí, a construção de barragens teve início por volta de 1909 como resultado das “medidas de combate às secas” que atingiam a região do semiárido nordestino, no âmbito das políticas de açudagem realizadas pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) (OLIVEIRA; MORAES, 2012). De acordo com Moraes (2006), pode-se dizer que a construção de barragens no semiárido piauiense, assim como outras obras de infraestrutura, inserem-se nas políticas ligadas ao processo mais amplo de integração da economia piauiense à nacional, cujo, em termos de estado Piauí, o exemplo mais recente, pode ser visualizado na incorporação dos cerrados piauienses pelo agronegócio do complexo grãos/carnes.

As barragens inserem-se na paisagem semiárida de maneira que podem ser consideradas como um marcador identitário, presente na poética sertaneja, retratada na descrição da paisagem e na relação do sertanejo com o ambiente natural. É, dessa forma, um elemento da tessitura geo-simbólica de uma territorialidade, desenhada no semiárido, historicamente, na relação entre seca e presença de água (OLIVEIRA; MORAES, 2012).

Contudo, vale mencionar que construção de barragens, por essas geralmente serem de grande proporção, influencia não somente na área na qual foi concebida, como também nas suas adjacências rurais e urbanas. Assim, a instalação em si desse empreendimento afeta o ecossistema englobado por ela e a sistemática da bacia hidrográfica a qual está inserida (PANIAGO, 2018).

Em regiões semiáridas, é preciso considerar que, o desconhecimento de sua complexidade, principalmente quanto ao cultivo de agricultura irrigada, permitiu a introdução de práticas inadequadas que resultaram na motivação ou no agravamento de desequilíbrios ambientais. De acordo com Silva (2006), as práticas inadequadas de agricultura irrigada, que vêm ampliando nas últimas duas décadas a sua presença no semiárido, agravam as

fragilidades ambientais com a desagregação de mananciais hídricos, de nascentes e com a ocorrência de erosão do solo, o que resultam na diminuição da produtividade, ocasionando prejuízos socioeconômicos significativos.

Assim, para este autor é preciso destacar a importância da geração de novas tecnologias que permitam a prática das atividades econômicas, dentre as quais se enquadra a agricultura irrigada, nas regiões semiáridas. Para tal, a chamada “convivência com o semiárido” se adequa entre os desafios para se alcançar o desenvolvimento sustentável. Silva (2006) direciona a combinação de valores e princípios desta convivência com a facilitação de atividades econômicas que permitam o aproveitamento sustentável das atividades produtivas apropriadas ao meio ambiente e das potencialidades naturais e culturais da região de origem.

Baptista e Campos (2013) acrescentam que o conviver com o semiárido significa, principalmente, viver, desenvolver-se e produzir, não dentro de uma mentalidade que valoriza e promove a concentração de bens, porém enfatiza a justiça, partilha e equidade, enaltecendo a natureza e cuidando de sua conservação. Conviver com o semiárido significa abraçar uma proposta de desenvolvimento que afirme ser o semiárido viável, sendo sua natureza rica e possível, desde que os seres humanos com ela se relacionem de maneira respeitosa e que hajam políticas públicas adequadas.

2.4. Erosão do solo

Sabe-se que os reservatórios formados pela construção de barramentos tornaram-se, ao longo dos anos, fontes de desenvolvimento principalmente para as populações semiáridas, onde a escassez hídrica provoca desequilíbrios entre a oferta e a demanda do recurso, possibilitando, assim, a utilização mais racional dos recursos hídricos por meio do estabelecimento dos usos múltiplos das águas armazenadas (GIL, 2017).

Contudo, a construção de uma barragem em uma bacia hidrográfica implica em diversos impactos ambientais. Dentre esses impactos, está incluída a modificação das condições naturais de transporte de partículas sólidas, transporte este que é consequência da ocorrência de erosão no solo da bacia hidrográfica da barragem, funcionando como um espaço artificial de retenção de sedimentos. Vale ressaltar que dentre as piores consequências da retenção de sedimentos em barragens, frutos da erosão do solo, está a redução do volume útil do reservatório, diminuindo dessa forma a sua capacidade de armazenamento, a disponibilidade hídrica ou a vazão regularizada, o que pode resultar em sérios impactos sobre

o desenvolvimento dos recursos hídricos, o que prejudica o atendimento às demandas dos diferentes usos ligados a ele na região semiárida (GIL, 2017; CARVALHO, 1998).

A erosão do solo é um processo no qual ocorre a desagregação e a remoção do solo, partículas e/ou fragmentos de rochas, através da ação combinada da gravidade com a água, vento e gelo. Esse fenômeno é resultante da interrupção do equilíbrio do meio ambiente, situando-se entre os mais graves problemas enfrentados pelo homem na atualidade, essencialmente pelo aumento constante e progressivo das regiões atingidas, sejam elas rurais ou urbanas, além das alterações nos recursos hídricos (ALMEIDA FILHO, 2015).

Dessa forma, a erosão do solo representa um dos processos de degradação ambiental mais impactante, cujo seu mapeamento e avaliação consistem em importantes instrumentos para a atividade de gestão e manejo dos recursos naturais em bacias hidrográficas, de maneira a permitir aos gestores a implementação de políticas de uso e cobertura da terra de forma considerada sustentável (DURÃES; COELHO FILHO; OLIVEIRA, 2016).

A erosão do solo basicamente pode ser de dois tipos: erosão natural ou geológica e erosão acelerada. Erosão natural ou geológica é aquela que ocorre de forma natural, ou seja, sem interferência do homem. A atuação contínua e lenta dos processos erosivos resulta na modificação da forma do relevo, normalmente após longos períodos de tempo. Sua principal característica é que a intensidade dessa erosão é sempre menor que a intensidade com que os solos se formam. Já a erosão acelerada é aquela que possui interferência antrópica, acelerando o processo natural com o tempo, ou, como é mais frequente, aumentando sua intensidade. Neste tipo de erosão, sua intensidade, quase sempre, é bastante acelerada, sendo altamente prejudicial por ocorrer num período de tempo muito curto (SILVA, 1995; ALMEIDA FILHO, 2015).

De acordo com Moreira, Chaves e Lima (2009) os processos erosivos causados pela interferência do homem, ou seja, a erosão acelerada, podem trazer sérios danos para as bacias hidrográficas, entre eles estão:

- A erosão provoca a morte da flora e da fauna do fundo de rios e lagos por soterramento;
- Os arrastamentos do solo podem encobrir porções de terreno férteis, sepultando-os com materiais áridos;
- Aumento da instabilidade em áreas mais elevadas, podendo causar deslocamentos repentinos de grandes massas de solo e rochas;

- Assoreamento, fazendo com que rios e lagos atinjam seu volume original e, como consequência, quando ocorrem grandes chuvas, esses corpos de água extravasam, provocando as enchentes;
- Intensificação da turbidez nas águas, aumentando a dificuldade da ação da luz solar na realização da fotossíntese, processo este importante para a purificação e oxigenação das águas.

É importante mencionar que a erosão é um processo bastante comum nas áreas de influência de barragens que não possuem cobertura vegetal ou algum tipo de vedação. Se esse fenômeno não for retificado em uma fase inicial pode ser capaz de resultar na formação de ravinas (boçoroca ou voçoroca) e o solo pode ser perdido por escoamento e cheias, ocasionando em problemas de estabilidade, percolação e assoreamento (STEPHENS, 2011).

2.4.1. Fatores que influenciam na erosão

Conforme mencionado anteriormente, a erosão é um fenômeno natural e tem sua origem no rompimento do equilíbrio natural do solo. Contudo, alguns condicionantes influenciam na aceleração dos processos erosivos, onde a combinação destes diversos fatores determina a intensidade do processo erosivo, podendo-se destacar os mais importantes: clima, tipo de solo, topografia, cobertura vegetal e ação antrópica (ALMEIDA FILHO, 2015; PRUSKI, 2009).

2.4.1.1. *Clima*

O clima por meio de seus diferentes agentes (vento, água, gelo, etc.) é o principal responsável pela retirada, transporte e deposição das partículas de solo. Dentre os agentes a ação da água, representada pela chuva, é considerada como o principal elemento climático de importância direta no desenvolvimento dos processos erosivos (COUTO, 2020).

A erosão provocada pelas águas da chuva ocorre devido o impacto das gotas, caindo com velocidade e energia variáveis, sobre a superfície do solo, e através da ação da enxurrada (ALMEIDA FILHO, 2015). Assim, segundo Neves (2017), sua ação depende da energia e velocidade que cai sobre o solo, que por sua vez, estão relacionados com a intensidade e distribuição pluviométrica. Bertoni e Lombardini Neto (1999) acrescentam que a gota da chuva colabora para a ocorrência dos processos erosivos de três maneiras: desagregando as partículas do solo, transportando as partículas e conferindo energia ao escoamento superficial.

O regime pluviométrico das chuvas é caracterizado pela intensidade, frequência, quantidade e duração das chuvas. A intensidade é considerada a principal característica do regime de chuvas, pode-se defini-la como sendo o volume de chuva na unidade de tempo; a frequência refere-se a sua distribuição, devendo-se levar em consideração a época da estação chuvosa; a quantidade é representada por um volume ou por uma lâmina de água; já a duração da chuva é função específica do tempo (SILVA, 1995).

Vale ressaltar que o conjunto dessas características é frequentemente conhecido por erosividade da chuva, que representa sua aptidão em provocar erosão (PRUSKI, 2009). Lal (1988) complementa que esta capacidade está relacionada com o tamanho da gota e a taxa de distribuição da chuva, já que conferem energia para ocorrer a erosão. Desse modo, a determinação dos valores de erosividade ao longo dos anos, exerce um papel relevante no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo em épocas de precipitação intensa, pois permite identificar os meses com maiores riscos de perda de solo e água (COUTO, 2020).

2.4.1.2. *Tipo de solo*

O solo, devido as suas baixas taxas de renovação, é um recurso natural considerado não renovável, portanto a sua conservação é imprescindível para a manutenção dos ecossistemas. O conhecimento acerca dos solos de uma região é um elemento essencial para identificação de limitações, potencialidades e riscos associados ao uso atual ou futuro da terra (FIGUEIREDO; FONSECA, 2013).

As características químicas (pH, CTC, etc.), físicas (estrutura, textura, permeabilidade, etc.) e biológicas do solo, que variam de acordo com as rochas de origem e seu processo de formação, exercem diferentes influências na erosão. Dessa maneira, a erosão é variável para cada tipo de solo, uma vez que essas propriedades conferem sua resistência e acarretam comportamentos diversos frente a condições semelhantes. Assim, frequentemente trabalha-se a influência do solo na erosão sob o conceito de erodibilidade, cujo objetivo é estudar a resistência ou suscetibilidade frente aos processos erosivos (COUTO, 2020; NEVES, 2017).

Para a ocorrência de fenômenos erosivos a natureza do solo é um fator essencial por suas características hidrológicas determinarem as taxas de infiltração e as hidráulicas as variáveis de fluxo. Nesse sentido, os solos considerados bem estruturados, com um maior volume de macroporos, condutividade rápida, facilita a infiltração da água, resultando na

redução do escoamento superficial, diminuindo assim o processo erosivo. Enquanto os solos arenosos, mesmo que sejam permeáveis, são normalmente pouco estruturados, o que favorece o trabalho das águas, resultando em uma maior suscetibilidade à erosão (SILVA, 1995).

2.4.1.3. Topografia

A topografia do terreno influencia diretamente na intensidade erosiva, principalmente no que se refere à declividade e comprimento de rampa do terreno, ou seja, comprimento da encosta ou da vertente. Estes fatores interferem diretamente na velocidade de escoamento das águas pluviais, as enxurradas (ALMEIDA FILHO, 2015).

Quanto maior a declividade, maior a velocidade e o volume de enxurrada, resultando em uma maior erosão. Com relação ao comprimento da encosta, à medida em que aumenta esse comprimento, aumenta, também, a velocidade adquirida pelas águas que escorrem, tendo como consequência a elevação da capacidade de transporte das partículas do solo, assim sendo, a quantidade de terra arrastada pela erosão (SILVA, 1995). Por conseguinte, a quantidade e a granulometria do maciço em suspensão arrastado pela água estão sujeitas à velocidade do escoamento superficial, a qual também interfere na energia resultante, ocasionando maior ou menor formação de feições erosivas (BERTONI; LOMBARDINI NETO, 2012).

É importante salientar que as encostas do relevo podem ser classificadas em relação ao comprimento, inclinação e largura do declive, sendo côncava, linear e convexa. Cada um desses três tipos de encostas influencia de modo distinto na ocorrência de fenômenos erosivos e conseqüentemente na formação de diferentes condições de concentração de fluxo de água. Assim, na encosta convexa ocorre uma maior perda de solo, seguida pelas encostas lineares e côncavas (RUHE, 1975).

2.4.1.4. Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal constitui o fator mais importante de defesa natural do solo, já que funciona como uma manta protetora, impedindo a primeira fase da erosão, que é a desagregação do solo (ALMEIDA FILHO, 2015).

Entre os principais efeitos da cobertura vegetal destacam-se: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; diminuição da velocidade de escoamento da água pluvial pelo aumento do atrito na superfície; melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria

orgânica, provocando o aumento de sua capacidade de retenção da água; dispersão da água, resultando na interceptação e evaporação da mesma antes que atinja o solo; decomposição das raízes das plantas, que ao formarem canículos no solo aumentam a capacidade de infiltração da água (SILVA, 1995).

A existência da cobertura vegetal, principalmente de vegetais arbóreos, é essencial para evitar o impacto direto das gotas de água da chuva no solo. Em regiões florestadas, após percorrerem as superfícies dos vegetais, essas gotas realizam o escoamento superficial difuso, diminuindo o impacto da chuva no solo. O solo, no caso de ausência de cobertura vegetal, ao permanecer diretamente desprotegido ao impacto das águas pluviais, manifesta-se sob uma determinada declividade do terreno. Desse modo, quando esse solo atinge a sua capacidade de saturação, as águas superficiais formam canais por escoamento superficial concentrado, o que podem ocasionar a intensificação das incisões no solo, resultando em sulcos erosivos e ravinas (SUERTEGARAY, 2008). Logo, a presença ou ausência de cobertura vegetal no solo modificam os ritmos de seus processos, podendo intensificar as perdas de solo ocasionadas por erosão.

2.4.1.5. Ação Antrópica

A erosão é o fenômeno de degradação ambiental que mais tem impactado a capacidade produtiva dos solos, ocasionada e acelerada por interferência antrópica, não apenas em zonas urbanas como nas rurais, que na maioria das vezes, deriva em um processo de erosão acelerada (PANACHUKI *et al.*, 2006).

Segundo Almeida Filho (2015) a atividade humana é considerada, dentre os fatores formadores de erosão, o principal detonante e agravante. Os principais acometimentos causados pela ação antrópica de forma a acelerar o processo de erosão são: retirada da cobertura vegetal, através de desmatamento, seguida de queimada; agricultura praticada sem a conservação do solo; criação e expansão de cidades; formação de pastos com alta densidade de animais, proporcionando um pisoteio excessivo em determinadas direções, criando trilhas e sulcos; aberturas de corredores e estradas sem o cuidado necessário na execução de obras de drenagem para coletar e transportar águas pluviais.

Desse modo, tais alterações ambientais, provocadas pela ação antrópica geram a exposição do solo aos impactos das chuvas, transformando a perda do solo superior à sua capacidade de formação de recuperação, afetando, então, a sua dinâmica natural (FRANCISCO, 2017).

2.4.2. Erosão hídrica

A erosão do solo pode ser provocada por diversos fatores. Entre eles, os principais são: erosão eólica, provocada pela ação do vento; erosão marinha, resultado das ondas, correntes marinhas e ação das marés; erosão química, ocasionada pelos processos químicos que ocorrem nas rochas; erosão glacial, provocada pelas geleiras e; erosão pluvial, produzida pelas águas das chuvas (MOREIRA; CHAVES; LIMA, 2009).

A erosão hídrica, ou erosão pluvial, é acarretada pela retirada de material da parte superficial do solo pela ação das águas da chuva. Esse tipo de erosão é acelerado quando a água encontra o solo desprotegido de cobertura vegetal. A ação da erosão pluvial se dá por meio do impacto das gotas de água sobre o solo. Vale ressaltar que a erosão hídrica aumenta ao passo que mais água da chuva se acumula no terreno, assim a retirada do solo se dá de cima para baixo (MOREIRA; CHAVES; LIMA, 2009). Isso porque a água que cai no solo e não infiltra ou não é retida nas microdepressões existentes nas superfícies irá escoar sobre o terreno, acarretando no transporte de partículas de solo desagregadas (GIL, 2017).

Quanto a forma de desgastar o solo, a erosão pluvial manifesta-se, essencialmente, de três formas: laminar, sulcos e ravinas (SILVA, 1995). A erosão laminar especifica-se pelo escoamento difuso das águas das chuvas. Nesse tipo de erosão a camada superficial do solo é retirada de maneira quase homogênea, sendo difícil de ser diagnosticada. Esse tipo de erosão mesmo sendo considerada a forma mais amena, ocasiona grandes prejuízos às terras agrícolas, fornecendo uma grande quantidade de sedimentos, resultando no assoreamento de represas, rios e lagos. A erosão em sulcos caracteriza-se por incisões rasas em forma de filetes, representadas por regiões onde ocorre erosão laminar muito intensa. Neste processo os sulcos podem passar absortos até que comecem a causar influência no trabalho de preparo do solo, diminuindo a sua produtividade (ALMEIDA FILHO, 2015).

Já a erosão em ravinas pode ser definida como um sulco profundo no solo causado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, não podendo ser combatida pelos procedimentos de conservação de solo. A evolução lateral ocorre pelo escoamento das águas das chuvas no seu interior, acarretando erosão no pé do talude e, resultando, dessa forma, em deslizamento de terra. O avanço das ravinas evolui de montante para jusante e, o escoamento hídrico no seu interior e nos taludes somente ocorre quando chove. É importante mencionar que quando o processo de formação de ravinas é acelerado e de grandes dimensões, de maneira a atingir um limiar, que é o freático, ocorre as chamadas boçorocas ou voçorocas. A erosão em boçoroca, por envolverem mecanismos mais complexos relacionados

aos fluxos subsuperficiais da água infiltrada no solo e também superficiais, são as mais graves (ALMEIDA FILHO, 2015). As voçorocas por serem a remoção de grandes massas do solo, formando sulcos imensos em extensão e profundidade, são de difícil controle e necessitam de grandes investimentos para a sua recuperação (SILVA, 1995).

Para o estudo do potencial das chuvas em provocar a erosão hídrica no solo, pode-se considerar os chamados índices de erosividade, que se baseiam nas características físicas da chuva encontradas em cada região (CABRAL *et al.*, 2005). Com isso, a estimativa da perda do solo ocasionada pela erosão pluvial vem sendo estudada com o emprego desses índices aplicando-os em diversos modelos matemáticos (AMORIM *et al.*, 2010). Dessa forma, é possível a identificação das áreas em bacias hidrográficas com transtornos de erosão hídrica, resultando na busca da mitigação desse fenômeno através de técnicas conservacionistas, já que a erosão hídrica constitui-se como um dos principais problemas de degradação do solo (OLIVEIRA; LEITE, 2018).

2.5. Equação Universal da Perda de Solo (USLE)

De acordo com Durães, Coelho Filho e Oliveira (2016), a avaliação quantitativa da erosão contribui positivamente para a elaboração de possíveis estratégias para o manejo de bacias hidrográficas, no contexto de desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a utilização de modelos distribuídos de simulação de erosão é útil na busca por estratégias que resultem no melhor gerenciamento dessas bacias. Dessa forma, a utilização de equações para prever a perda do solo em determinadas regiões é bastante comum.

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o primeiro modelo matemático empírico criado com o objetivo de prever a magnitude de perda de solo provocada por erosão foi a Equação Universal da Perda de Solo ou Universal Soil Loss Equation – USLE. Esta equação foi desenvolvida em 1965, por W. H. Wischmeier e D. D. Smith nos Estados Unidos da América, sendo depois modificada por outros pesquisadores.

A USLE foi desenvolvida para estimar a erosão do solo entre sulcos e entressulcos, em função dos fatores que representam o solo, o uso e manejo do solo, a topografia e o clima, não levando em consideração, os processos físicos implicados na erosão do solo, como o desprendimento e transporte dos sedimentos (LANE *et al.*, 1992). Contudo, Gil (2017) destaca que, alguns autores indicam que a equação é pouco precisa para a previsão de eventos específicos, em um curto espaço de tempo, uma vez que existem consideráveis flutuações das

variáveis envolvidas. Por conta disso, a USLE é bastante utilizada para estimativas médias de perda de solo, em bacias hidrográficas.

Acrescenta-se ainda que, depois de anos de estudo Wischmeier e Smith (1978) aperfeiçoaram a USLE, desenvolvendo a Equação Universal da Perda de Solo Revisada para a estimativa da perda média anual de solo ou Reviewed Universal Soil Loss Equation – RUSLE.

A Equação Universal da Perda de Solo Revisada (RUSLE) é uma equação empírica de simplicidade na sua formulação. À vista disso é o método mais usado em todo o mundo, prevendo taxas de erosão a longo prazo em áreas sujeitas a diferentes práticas de manejo de solo (GANASRI; RAMESH, 2016). Vale ressaltar que a RUSLE além de calcular a perda do solo também é responsável pelo cálculo da concentração de sólidos dissolvidos em suspensão para estimar a descarga sólida e a taxa de aporte de sedimentos (DURÃES; COELHO FILHO; OLIVEIRA, 2016).

Gil (2017) completa que esta equação foi obtida por meio de observações em perdas de solo em mais de 11.000 parcelas padrão com 0,008 ha, em 47 locais, em 24 estados dos EUA e 9% de declividade. A equação do método de USLE versão revisada para prever a perda anual de solo está descrita abaixo (BISWAS; PANI, 2015; GIL, 2017), Equação 1.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Onde:

A é a perda média anual de solo por unidade de área ($t \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), própria ao escoamento superficial ou erosão bruta média anual;

R é o fator de erosividade da chuva-escoamento ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), expressando o potencial erosivo da precipitação anual existente na região;

K é o fator de erodibilidade do solo ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), que corresponde a capacidade do solo de sofrer erosão através de uma determinada precipitação;

LS é o fator topográfico, constituído pelo fator comprimento da inclinação (relação de perdas de solo entre o comprimento de um declive qualquer e um comprimento de rampa de 22,13 m para o mesmo solo e grau de declive) e pelo fator grau de declive (relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo comprimento de rampa);

C é a variável de cobertura do solo (relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado);

P é a variável de práticas conservacionistas (relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo).

Vale lembrar que, os fatores C e P estão relacionados às formas de uso e manejo dos solos, ou seja, aqueles que sofrem influência do homem e, os fatores R, K, e LS são dependentes das condições naturais.

Acrescenta-se, ainda, que estudos que utilizaram a Equação Universal da Perda de Solo Revisada para a análise das perdas de solo provocadas por erosão foram desenvolvidos para algumas regiões do Brasil. Silva *et al.* (2020), por exemplo, modelou a perda de solo para o município de Pelotas, no Rio Grande do Sul, verificando que em mais de 36% da área a erosão estava acima do limite tolerável. Salis, Costa e Viana estimaram as perdas médias anuais de solo por erosão para a bacia do córrego Marinheiro, em Minas Gerais, no qual foi possível averiguar que 21% da área possuía riscos ambientais, por terem classe do tipo severa a muito alta com risco de processos erosivos. Já Gil (2017) estimou a produção de sedimentos para a bacia hidrográfica da barragem Bocaína, localizada no semiárido piauiense, verificando o valor médio de perda de solo equivalente a 13,53 ton/ha.ano, classificando a bacia com potencial erosivo moderado.

2.6. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

Nos últimos anos, a utilização do sensoriamento remoto e do geoprocessamento tornou-se bastante comum para a análise espacial do território, proporcionando um maior controle e conhecimento acerca dos recursos naturais, que resulta na implantação de ações de planejamento, ordenamento e gestão desses recursos (GOMES, 2011).

O sensoriamento remoto tem por objetivo obter imagens digitais e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida (termal) pelos alvos da superfície física da terra. O termo sensoriamento está relacionado com o recebimento de dados e, remoto, que quer dizer distância, é usado porque a captação desses é realizada a distância, ou seja, sem o contato direto entre o sensor e a superfície terrestre. É importante destacar que a utilização de sensoriamento remoto possibilita a identificação, o cálculo e o monitoramento de ambientes transformados ou

construídos pela ação antrópica, no crescimento de áreas desflorestadas, vítimas de incêndios, áreas suscetíveis à erosão e tudo aquilo que modifique a paisagem (FLORENZANO, 2002).

Para os estudos realizados em bacias hidrográficas, a utilização de sensoriamento remoto possibilita, através da análise das imagens multiespectrais, a detecção da perda de solo provocada por erosão, a alteração nos tipos de usos antrópicos, resultando em um maior entendimento para a análise de acontecimentos históricos, como a construção de barragens, enchentes e a criação de unidades de conservação (SAMIZAVA, 2009).

Já o geoprocessamento denota um ramo do conhecimento que faz uso da matemática e da computação para o tratamento de informações geográficas. Essa tecnologia tem influenciado as diversas áreas do conhecimento, uma vez que possibilita a coleta e o tratamento de dados espaciais com um objetivo específico, tais como a Cartografia, a Análise de Recursos Naturais, o Planejamento Urbano e Rural, entre outros, identificando o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais e possibilitando a criação de relatórios e mapas para a compreensão desses relacionamentos (REGHINI; CAVICHIOLI, 2020).

O geoprocessamento apresenta um enorme potencial principalmente em países de grandes dimensões que possuem carência de informações necessárias para a tomada de decisões sobre a problemática ambiental e urbana. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são os instrumentos computacionais do Geoprocessamento, e através desses a realização de análises complexas é viável, uma vez que permitem a integração de dados de diversas fontes e a criação de bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

A utilização dos SIGs tornou-se uma abordagem importante a ser usada no monitoramento e controle ambiental, uma vez que permite o armazenamento de informações e imagens e o cruzamento destes, proporcionando uma visão mais ampla e com precisão do local em estudo e permitindo a espacialização de informações em grandes áreas (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Vale mencionar que a utilização de geoprocessamento para a análise de bacias hidrográficas permite uma radiografia eficiente desse sistema ambiental através da elaboração dos modelos digitais implementados nos SIGs (BACANI, 2010).

Dessa forma, a aplicação de sistemas de informações geográficas e de processamento digital de imagens orbitais tornaram-se abordagens indispensáveis para a manipulação, extração e integração de informações espaciais, utilizando-os por diversos profissionais das várias áreas do conhecimento (GOMES, 2011).

Falcão *et al.* (2017) acrescentam que os programas computacionais de geoprocessamento são essenciais para a melhor gestão das bacias hidrográficas. Através

desses mecanismos, torna-se possível a realização do mapeamento dos recursos naturais existentes nas bacias hidrográficas, tanto na superfície como também na subsuperfície, representando uma informação preciosa para apoiar o poder público e fornecendo auxílio para a utilização racional desses recursos.

Para Criado e Piroli (2012), o estudo das bacias hidrográficas, geralmente, apresenta-se complexo, uma vez que no mesmo espaço geográfico é possível observar elementos diferentes, com climas diferentes, biomas diversos, nível de intervenção humana variado, entre outros. À vista disso, o uso do geoprocessamento facilita o gerenciamento das bacias hidrográficas, a partir do conhecimento do seu potencial, em termos quantitativos e qualitativos, na definição de suas vulnerabilidades e de seus riscos de uso com vistas ao planejamento (FALCÃO *et al.*, 2017).

A utilização dos Sistemas de Informações Geográficas simplifica a realização de operações complexas, promovendo a integração de grande volume de dados de natureza e escalas diferentes. Dessa maneira, o geoprocessamento configura-se como um método de resposta às necessidades das bacias hidrográficas, representando uma opção relativamente acessível para um planejamento territorial, ambientalmente conservacionista, além de ser economicamente viável. Consequentemente, oferecendo subsídios para uma melhor gestão e monitoramento das bacias hidrográficas, com atenção especial para a utilização de seus recursos naturais e a propensão à erosão (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Com a finalidade de ser atingida a metodologia científica, é importante que haja o entendimento de como o tema da presente pesquisa se encaixou na epistemologia científica, com análise dos resultados de maneira interdisciplinar.

Nesse sentido, de forma a se obter uma análise das perdas de solo provocadas por erosão hídrica na bacia em estudo, ao longo dos anos escolhidos, buscou-se verificar as relações sociedade-natureza para se entender a funcionalidade da dinâmica ambiental. Assim, a evolução dos fenômenos sócio-espaciais, que resultaram nas transformações ambientais e podem interferir na perda de solo da bacia, será mostrada por meio do mapeamento do uso e cobertura da terra no intervalo de anos de 2005 a 2018.

A ideia central é realizar uma caracterização completa da bacia, tanto do ponto de vista ambiental como socioeconômico, de forma a entender e analisar a dinâmica temporal e espacial dos fatores que interferem nesse tipo de degradação ambiental, que é a erosão do solo, e nas suas possíveis consequências.

Para isso, foi realizada uma investigação na literatura existente, de autores e suas concepções-metodológicas, a respeito de pesquisas que pudessem ajudar na caracterização da área de estudo. Dessa maneira, realizou-se o levantamento nas instituições que possuem relação com as temáticas tratadas e que puderam subsidiar informações, tais como a Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

O mapeamento das perdas estimadas de solo por erosão pluvial na bacia será realizado em ambiente SIG, no *software* QGIS, no qual serão multiplicados os mapas dos fatores que interferem na equação de perda de solo - RUSLE, fatores esses físicos e antrópicos, em formato *raster*, espacializados na mesma resolução espacial e projeção. Por fim, foi realizado um levantamento em campo, em setembro de 2020, através de uma coleta exploratória da região, na qual a paisagem foi analisada por meio de registros fotográficos e coletas de coordenadas.

Assim, neste capítulo são apresentados quais foram os materiais e métodos usados para o progresso do estudo em cada uma das etapas seguidas para o seu desenvolvimento. As etapas foram essas:

1. Caracterização física da área de estudo;
2. Levantamento de dados secundários socioeconômicos;

3. Estimativa do potencial de erosão da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, por meio da equação – RUSLE.

3.1. Caracterização física da área de estudo

Para a realização da caracterização ambiental da bacia hidrográfica em questão fez-se o uso da literatura existente para a obtenção de informações relevantes, bem como de dados cartográficos, abordagens de sensoriamento remoto para a elaboração do mapeamento físico dos elementos necessários e as fotografias coletadas da paisagem.

3.1.1. Delimitação da área de estudo

A área proposta para o diagnóstico das perdas de solo ocasionadas por erosão hídrica foi a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, inserida no sudeste piauiense. Optou-se pelo estudo da mesma, uma vez que o seu reservatório hídrico, a barragem Petrônio Portela, regulariza as vazões do rio Piauí e se configura como fonte hídrica de importância estratégica para a região. Atualmente, a barragem atende doze municípios, por isso a relevância do conhecimento acerca da erosão do solo em sua bacia hidrográfica, já que as consequências desse fenômeno podem prejudicá-la, como é o aporte de sedimentos da bacia para o reservatório, comprometendo sua capacidade de armazenamento, entre outros.

Desse modo, inicialmente buscou-se realizar a delimitação área da bacia de drenagem da barragem Petrônio Portela. Para isso, foram utilizadas as imagens SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle ou Shuttle Radar Topography). As cenas utilizadas foram 08S45_ZN, 08S435_ZN, 09S45_ZN e 09S435_ZN que foram unificadas por meio da geração do mosaico, e depois esse mosaico foi reprojetoado para o Sistema de Projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) e Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), Zona 23 Sul. Vale ressaltar que, o *software* utilizado para a abordagem do geoprocessamento em todas as etapas do trabalho foi o QGIS, versão 3.4.8.

A segunda etapa, para a geração da bacia hidrográfica, consiste na utilização do algoritmo *r.whatershed*, existente no *software* QGIS, sendo realizada a análise hidrológica da imagem. Assim, foram geradas sub-bacias hidrográficas e os fluxos hidrológicos para a imagem, logo após, realizou-se a seleção das sub-bacias até o exultório considerado, a barragem Petrônio Portela, formando a bacia total de drenagem.

Com a imagem obtida anteriormente pelo processo de mesclagem, buscou-se realizar a análise hipsométrica do terreno. Para tal, primeiramente essa imagem foi recortada, tornando evidente somente a bacia em estudo, depois realizou-se a correção da escala de cores, possibilitando conhecer a altimetria da bacia de forma mais detalhada, sendo realizado pela ferramenta *sombreamento* do QGIS.

Dessa forma, para o mapeamento da localização da área da bacia em estudo, fez-se o uso de arquivos em formato *shapefile* (.shp) disponibilizados em algumas instituições, que são eles: Limite brasileiro, estadual, municipal e sedes municipais (IBGE, 2018); semiárido nordestino (ANA, 2017) e; rodovias pavimentadas do Brasil (PNLT, 2008).

3.1.2. Hidrografia

Para a elaboração do mapeamento da hidrografia da rede de drenagem da barragem Petrônio Portela fez-se o uso de arquivos em formato *shapefile* (.shp) disponibilizados pela ANA da drenagem e das massas d'água para a bacia hidrográfica do Parnaíba (ANA, 2016a).

Depois, através da ferramenta *recortar*, essas camadas vetoriais foram recortadas de modo a selecionar somente o que estava inserido na bacia em estudo. É importante mencionar que foi realizada uma comparação entre esses arquivos de drenagem e os fluxos hidrológicos gerados anteriormente pelo algoritmo *r.watershed*, verificando semelhanças nas quais tornaram o *shapefile* representativo da drenagem da bacia em estudo.

3.1.3. Características morfométricas da bacia

A princípio buscou-se estabelecer as características físicas da bacia em estudo, através da ferramenta *calculadora de campo* do QGIS. Dessa maneira, foi possível obter, por exemplo, a área da bacia, o seu perímetro, o seu comprimento de drenagem e, dentre outros.

Depois que todas as características físicas da bacia foram obtidas, foi possível, então, calcular as suas características morfométricas, que foram obtidas por meio dos coeficientes de forma, drenagem e relevo, sendo calculados como é mostrado a seguir:

- Fator de forma: é o coeficiente definido pelo quociente entre a área da bacia e o comprimento do seu eixo, ou seja, pela relação entre a sua largura média e o comprimento axial de seu curso d'água principal (PAZ, 2004).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

- Coeficiente de compacidade: é o fator definido pela relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo que possua a mesma área da bacia (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

$$K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

- Ordem dos cursos d'água: esse é um parâmetro que possibilita a compreensão da ramificação da rede de drenagem. A regra mais usual para a classificação de cada curso d'água é a que considera que para todos os cursos d'água que não recebem afluência de um outro são de ordem 1. Assim, dois de ordem n formam um de ordem n + 1 e dois de ordens diferentes resultam em um curso d'água com a ordem igual aquele formador de maior ordem (TEIXEIRA, 2010).
- Densidade de drenagem: indica a relação entre o comprimento total dos cursos d'água, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros, de uma bacia e sua área total. Esse coeficiente é um bom indicador do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem (PAZ, 2004).
- Sinuosidade do curso d'água principal: apresenta o quociente entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue desse rio, ou seja, a distância entre a nascente e a foz medida em linha reta. Esse termo representa a “quantidade” de curvatura do rio (GIL, 2017).

$$S_c = \frac{L_c}{dc} \quad (4)$$

- Declividade do curso d'água principal: essa declividade é determinada pelo quociente entre a diferença total de elevação do leito e a distância horizontal entre eles (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$D_c = \frac{\Delta Cota_1}{disthoriz} \quad (5)$$

3.1.4. Geologia

Para a caracterização geológica da bacia em estudo, utilizou-se o arquivo no formato *shapefile* (.shp) do mapa geológico do Piauí na escala 1:1.000.000 (CPRM, 2006). Esse arquivo fornece as informações relativas às unidades litoestratigráficas, contendo, também, a composição litológica presente no estado. Depois, através da ferramenta *recortar*, do QGIS, essa camada vetorial foi recortada de modo a selecionar somente o que estava inserido na bacia em estudo, sendo apuradas as feições que faziam parte da mesma unidade geológica, por meio da ferramenta *tabela de atributo*. E por último, realizou-se o cálculo de cada uma dessas unidades presentes na bacia, por meio da ferramenta *calculadora de campo* do QGIS.

3.1.5. Geomorfologia

Para a caracterização geomorfológica da bacia em estudo, utilizou-se o arquivo no formato *shapefile* (.shp) do mapa da geodiversidade do Piauí na escala 1:1.000.000 (CPRM, 2008). Esse arquivo contém informações relacionada às unidades de relevo presente no estado. Depois, todos os dados espaciais foram recortados para o limite da camada de estudo.

3.1.6. Pedologia

Para a caracterização dos solos da bacia em estudo, utilizou-se o arquivo no formato *shapefile* (.shp) do mapa de solos do Piauí na escala 1:1.000.000 (JACOMINE, 1986). Esse arquivo fornece as informações relativas às unidades de mapeamento pedológico, reunindo as associações de solo e sua respectiva classe predominante. Logo, todos os dados espaciais foram recortados para o limite da camada de estudo, sendo encontrada a predominância de cada uma das associações pedológicas presentes na bacia.

3.1.7. Aspectos hidroclimáticos

Os dados utilizados para a caracterização climatológica foram a pluviometria, as temperaturas, a umidade relativa do ar, evaporação e o balanço hídrico. Inicialmente, buscou-se calcular a precipitação média anual da área de estudo, uma vez que essa representa a caracterização pluviométrica. Para isso, foram procuradas estações pluviométricas na bacia e

na sua vizinhança com séries históricas de mais de 30 anos. Essas estações foram buscadas no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA, o Hidroweb.

Encontradas as estações pluviométricas, corrigiu-se as falhas para os meses que não possuíam medições, através da aplicação de técnicas estatísticas. Depois, calculou-se a precipitação média mensal para cada uma das estações, calculando o valor mensal para a bacia através do Método de Thiessen. Esse método forma os polígonos de Thiessen pela interseção das linhas das mediatrizes formadas por cada estação pluviométrica, delimitando a área de influência de cada estação (MARCIANO; BARBOSA; SILVA, 2018).

De acordo com Salgueiro (2005), para o cálculo da precipitação média, este método utiliza a ponderação, em cada estação pluviométrica, das médias dos valores precipitados. A precipitação média é calculada pela fórmula expressa a seguir:

$$P_m = \frac{1}{A} * \sum(P_i * A_i) \quad (6)$$

Onde:

P_m é a precipitação média calculada em mm;

A é a área total da bacia;

P_i é a precipitação registrada no posto i ;

A_i é a área de influência do posto i .

Encontradas precipitações médias mensais para a bacia, determinou-se o valor médio anual. Posteriormente, buscou-se determinar os outros dados climatológicos. Para isso, utilizou-se o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na procura de uma estação climatológica que abrangesse a área de estudo, uma vez que as estações que foram utilizadas para calcular a precipitação média eram somente pluviométricas, ou seja, somente faziam a coleta das chuvas, não medindo e não registrando os outros parâmetros climatológicos necessários para a caracterização.

Encontrada a estação, buscou-se suas informações no INMET a respeito das temperaturas, umidade relativa do ar, evaporação e a evapotranspiração potencial, sendo esta última utilizada na análise do balanço hídrico climatológico para a bacia. Para a computação do balanço climatológico normal utilizou-se a metodologia de Thornthwaite e Matter (1955). Este método contabiliza a água presente no solo, na qual a precipitação equivale ao seu ganho e a evapotranspiração representa a perda de umidade do solo (NOGUEIRA; LIMA, 1989).

Assim, com base na precipitação média mensal para a bacia, calculada anteriormente, e a evapotranspiração mensal tabelada pelo INMET, foi computado o balanço hídrico, através do editor de planilhas Microsoft Office Excel, gerando informações a respeito da evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC).

3.1.8. Vegetação

A princípio foram buscadas no IBGE informações relativas ao bioma encontrado na região. Dessa forma, tendo-se conhecimento da existência da Caatinga como o bioma presente na bacia, buscou-se na literatura analisar a perspectivas de autores sobre a vegetação encontrada nesse bioma, situando a sua importância no contexto ambiental.

3.1.9. A Barragem Petrônio Portela

Inicialmente foram buscadas informações nas instituições que possuem relação com a Barragem Petrônio Portela, tais como a ANA e o DNOCS, nas quais procurou-se compreender a importância desse reservatório para a região, quais são os beneficiados por sua implantação, além de seus dados técnicos.

3.2. Levantamento de dados secundários socioeconômicos

Realizou-se a caracterização socioeconômica da área de estudo através de levantamentos de dados secundários, por meio do IBGE e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Dessa forma, durante o colhimento de informações, buscou-se apreender dos onze municípios inseridos na bacia de drenagem da barragem Petrônio Portela os dados sociais e econômicos mais importantes para a caracterização do território. Os indicadores considerados nesse estudo são de natureza predominantemente quantitativa e foram coletados nas bases disponibilizadas de dados secundários, via Censo Demográfico, Censo Agropecuário, dentre outros. O Quadro 1 apresenta um resumo dos levantamentos.

Quadro 1 - Resumo dos levantamentos de dados secundários socioeconômicos utilizados na pesquisa

Levantamento	Fonte	Descrição
Demografia	IBGE (2000), IBGE (2010)	Dados sobre a população total dos municípios, população rural e urbana e as características gerais da população.
Economia	IPEADATA (2017), IBGE (2006)	Reúne informações acerca do Produto Interno Bruto dos municípios, além de buscar compreender quais as atividades econômicas de maior impacto na região e as áreas destinadas a essas atividades.
Saneamento Básico	IBGE (2000), IBGE (2010)	Dados e informações a respeito do sistema de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo dos municípios avaliados.
Índice de Desenvolvimento Humano	IBGE (2000), IBGE (2010)	Informações sobre a renda, longevidade e educação da população, resultando na classificação da região quanto ao desenvolvimento atingido.

Fonte: Elaboração própria.

3.3. Erosão do solo na bacia

O modelo reputado como adequado para a estimativa das perdas de solo por erosão pluvial na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela é a versão revisada da Equação Universal de Perda de Solo. Isso porque esse modelo permite uma maior flexibilidade para a realização do cálculo de perda de solo, adaptando-se às informações disponíveis. A outra vantagem da utilização desta equação é a facilidade no uso de seus parâmetros em ambientes SIG, permitindo uma melhor análise desses. Nesse sentido, pretende-se atingir o principal objetivo desta pesquisa que é estimar as perdas de solo causadas por erosão hídrica para a bacia em estudo em diferentes anos.

Para isso, foram avaliados os fatores participantes nos processos erosivos da bacia, indicando uma taxa potencial de perda de solo por unidade de área por meio do escoamento superficial, que são: fator de erosividade das chuvas (R), fator de erodibilidade dos solos (K), fator topográfico (LS) e fator de cobertura do solo/ práticas conservacionistas (CP).

O arcabouço para a estimativa das perdas de solo por erosão hídrica na bacia em estudo utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento compreende cinco etapas primordiais: i) Cálculo do fator R através de dados pluviométricos e elaboração do mapa de erosividade; ii) Obtenção do fator K por meio da pedologia da região, através de valores indicados na literatura, resultando na elaboração do mapa de erodibilidade do solo; iii) Aquisição do mapa do fator topográfico (LS) através de imagens que representassem um

modelo digital de elevação (MDE) da área; iv) Geração do uso e cobertura da terra por meio da classificação de imagens de satélite de diferentes anos; e v) Álgebra de mapas com os fatores da RUSLE.

3.3.1. Erosividade das precipitações (R)

Segundo Gil (2017), a quantidade e a intensidade das chuvas são os fatores que determinam a erosividade de um determinado evento, dessa maneira, a chuva é um dos parâmetros que tem forte influência nos processos de erosão hídrica. A autora completa que quando a ocorrência da precipitação possui intensidade baixa, as taxas de infiltração do solo não são superadas, não havendo erosão laminar do solo, já que o evento não produzirá escoamento superficial. Contudo, Biswas e Pani (2015) acrescentam que quando as chuvas ocorrem com elevada intensidade, os solos se tornam saturados, já que os limites de saturação do solo são ultrapassados, resultando na produção do escoamento superficial demasiado que influencia na perda de solo por erosão.

A erosividade das chuvas é a capacidade da chuva em causar erosão no solo, sendo função exclusiva das características físicas da própria chuva, tais como o diâmetro das gotas, a intensidade e a duração (MELLO *et al.*, 2007). Cabral, Valladares e Aquino (2014) ressaltam que o conhecimento acerca da potencialidade das chuvas em causar erosão do solo é essencial para a criação de um programa de manejo e conservação do solo, antecipando, assim, os impactos erosivos antes mesmo de determinada prática agrícola ser implantada.

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), para se calcular o R em uma área é necessário que sejam coletados dados pluviográficos de no mínimo 10 anos (GONÇALVES *et al.*, 2006). Contudo, no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, os dados pluviográficos são mais escassos, sendo indispensável o uso de outras metodologias para a estimativa do fator R.

Sendo assim, por meio de dados coletados por pluviômetros para as chuvas mensais e anuais de uma determinada região, esta pesquisa utilizou de uma das equações apresentadas por Silva (2004) para o cálculo da erosividade das chuvas no Brasil, conforme é mostrado na Figura 2.

Desse modo, como a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela está enquadrada na região 4, da Figura 2, então para o cálculo da erosividade mensal e anual das chuvas foi utilizada a equação recomendada por Silva (2001), mostrada a seguir:

$$R_x = \left\{ 42,307 * \left[\frac{(M_x^2)}{P} \right] \right\} + 69,763 \quad (7)$$


Onde:

R_x é o fator R por mês x em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹;

M_x é a precipitação média mensal em mm;

P é a precipitação média anual em mm.

Figura 2 - Equações usadas para a determinação da erosividade das chuvas no Brasil



Number	Equation	Author(s)
1	$R_x = 3.76 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right) + 42.77$	Oliveira Jr. and Medina (1990)
2	$R_x = 36.849 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{1.0852}$	Morais et al. (1991)
3	$R_x = (0.66 * M_x) + 8.88$	Oliveira Jr. (1988)
4	$R_x = 42.307 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right) + 69.763$	Silva (2001)
5	$R_x = 0.13 * (M_x^{1.24})$	Leprun (1981)
6	$R_x = 12.592 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0.6030}$	Val et al. (1986)
7	$R_x = 68.73 * \left(\frac{M_x^2}{P} \right)^{0.841}$	Lombardi Neto and Moldenhauer (1992)
8	$R_x = 19.55 + (4.20 * M_x)$	Rufino et al. (1993)

Fonte: Silva, 2004.

Definida a equação a ser aplicada para o cálculo da erosividade das chuvas, buscou-se postos pluviométricos na bacia em estudo ou próximos de sua área, no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA, o Hidroweb, considerando um intervalo de tempo, para as séries históricas, atual, ou seja, próximo ao ano da realização da pesquisa, e que tivesse no mínimo dez anos coletados.

Encontrada as estações pluviométricas, corrigiu-se as falhas para os meses que não possuíam medições. Depois, calculou-se a precipitação média mensal para cada uma das estações, calculando o valor mensal para a bacia através do Método de Thiessen, que resultou no valor anual de precipitação. Este valor de precipitação média anual para a bacia em estudo foi comparado com a precipitação média anual encontrada durante a caracterização climatológica da bacia, verificando se os valores eram compatíveis e se a série histórica considerada para o cálculo da erosividade poderia ser utilizada.

Calculou-se, então para cada uma das estações pluviométricas as erosividades mensais e as anuais, encontrando estas através do somatório das mensais dos respectivos anos. Posteriormente, por meio desses valores encontrados pelas estações, fez-se o uso do Método de Thiessen em sua espacialização, resultando no cálculo das erosividades mensais e anuais, para a série histórica considerada, e posteriormente no cálculo das erosividades médias mensais e erosividade média anual para a bacia em estudo.

Os valores médios mensais e o valor médio anual encontrados em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a bacia, foram classificados conforme os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2, propostas por Carvalho (1995).

Tabela 1 - Classe de erosividade mensal da chuva

Classe de erosividade	Erosividade (R) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹
1 - Muito Baixa	R < 250
2 - Baixa	250 < R < 500
3 - Média	500 < R < 750
4 - Alta	750 < R < 1000
5 - Muito Alta	R > 1000

Fonte: Carvalho, 1995.

Tabela 2 - Classe de erosividade anual da chuva

Classe de erosividade	Erosividade (R) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹
1 - Muito Baixa	R < 2452
2 - Baixa	2452 < R < 4905
3 - Média	4905 < R < 7357
4 - Alta	7357 < R < 9810
5 - Muito Alta	R > 9810

Fonte: Carvalho, 1995.

Através da ferramenta do QGIS *polígonos de Voronoi*, as erosividades foram especializadas no mapa, já que esses polígonos representam as áreas de influências encontradas pelo Método de Thiessen. Depois, criou-se o mapa final de erosividade das chuvas, para as erosividades médias anuais encontradas nas estações pluviométricas, seguindo a metodologia da elaboração dos mapas anteriores, sendo transformado em formato *raster* 30x30, com o objetivo de ser inserido na equação da RUSLE.

3.3.2. Erodibilidade dos solos (K)

A erodibilidade do solo (K) consiste no fator que representa a execução dos processos que ajudam na infiltração da água no solo, a desagregação pela colisão da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em relação aos processos erosivos (LAL, 1988). Para a determinação do parâmetro K deve-se levar em consideração as propriedades intrínsecas do solo, que resultam na modificação da velocidade de infiltração de água no solo, tais como a estrutura, textura, conteúdo de matéria orgânica e permeabilidade (MORGAN, 2005; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985).

Nesse sentido, o fator K é o responsável pelos atributos do solo em sua perda durante eventos de chuvas intensas, já que está relacionado aos efeitos integrados de chuva, escoamento e infiltração (RENARD *et al.*, 1997). Desse modo, para o fator erodibilidade do solo, utilizou-se como base o mapa pedológico da área de estudo, na escala 1:1.000.000, a partir da classificação realizada por Jacomine (1986). Destaca-se que os limites das unidades de mapeamento foram revisados por interpretação de imagens óticas e da topografia. Os valores de K utilizados relativos a esta classificação foram obtidos por Aquino e Oliveira (2017), nos quais foram calculados com base na erodibilidade individual de cada um de seus solos e de sua porcentagem na associação.

Depois que os fatores K para cada uma das classes existentes na área em estudo foram encontrados, inseriu-se os valores nas suas respectivas unidades de mapeamento de solos, sendo posteriormente convertidos em formato *raster*, com 30x30 m, com a finalidade de serem inseridos na equação RUSLE. Por fim, o grau de erodibilidade do solo foi classificado baseado em Mannigel *et al.* (2002), como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação da erodibilidade do solo

Classe de declividade	K (ton.hMJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Muito baixo	< 0,009
Baixo	0,009 a 0,015
Médio	0,015 a 0,030
Alto	0,030 a 0,045
Muito alto	0,045 a 0,060
Extremamente alto	> 0,060

Fonte: Mannigel *et al.*, 2002.

3.3.3. Fator topográfico (LS)

A topografia de uma região exerce forte interferência na erosão do solo, sendo representada pelo comprimento (L), declive e forma da encosta (S), e essa é representada pelo fator topográfico na RUSLE (SANTOS, 2011).

No presente trabalho o comprimento de rampa (L) e o grau de declividade (S) foram agrupados em um único fator, que é o fator topográfico (LS) e calculado conforme a Equação 8, proposta por Bertoni e Lobardini Neto (1999).

$$LS = 0,00984 * C^{0,63} * D^{1,18} \quad (8)$$

Onde:

LS é o fator topográfico que é adimensional;

C é o comprimento médio da rampa, expressa em metros;

D é a declividade em %.

O comprimento médio da rampa tem relevância significativa na perda de solo através da erosão, já que a velocidade de escoamento é maior quanto maior for a sua extensão. Por conseguinte, o comprimento médio de rampa foi calculado por meio da Equação 9, apresentada por Fernandes (2000).

$$C = \frac{A}{(4 * \sum L)} \quad (9)$$

Sendo:

A a área de contribuição hídrica da microbacia (m²);

L é o somatório de toda a drenagem presente na microbacia (m).

Para isso foi necessário delimitar as microbacias de contribuição para a área de drenagem total do estudo. Esse procedimento já havia sido realizado anteriormente durante a delimitação da bacia por meio do algoritmo *r.watershed*, no item 3.1.1. Assim, obteve-se o *raster* composto pela divisão da área em estudo em microbacias, sendo esse convertido em vetor por meio da ferramenta *poligonizar* para que as áreas de cada uma das microbacias pudessem ser calculadas.

Calculou-se então as áreas das microbacias e o comprimento dos cursos d'água mediante a *calculadora de campo* do QGIS. Vale ressaltar que para a apuração dos somatórios de drenagem foi usado o *shapefile* disponibilizado pela ANA (2016a) e usado anteriormente, no item 3.1.2. Calculado as áreas das microbacias e seus respectivos comprimentos de drenagem, a Equação 9 foi aplicada e os comprimentos médios de rampa foram encontrados.

Com relação à declividade, esta influencia na erosão do solo, pois o volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente ligados ao grau de declividade de um terreno (BERTONI; LOBARDINI NETO, 1985). O mapa de declividade foi gerado por meio da imagem mesclada e reprojetaada no sistema SIRGAS 2000, concebida no item 3.1.1. Adiante esse *raster* foi recortado, de modo que somente a bacia em estudo pudesse ser evidenciada.

Posteriormente essa imagem foi submetida aos algoritmos do GDAL, de maneira a gerar a declividade por porcentagem. A classificação da declividade foi feita de acordo com a EMBRAPA (1979), expressa na Tabela 4, sendo realizada pelo algoritmo *r.reclass*.

Tabela 4 - Classificação da declividade

Classe de declividade	Declividade (%)
Plano	0 a 3
Suave Ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte Ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	> 75

Fonte: EMBRAPA, 1979.

Visando uma melhor análise da topografia da bacia hidrográfica em estudo, a imagem classificada foi submetida ao algoritmo *r.report* permitindo a quantificação em quilômetros quadrados para as classes de declividade existentes. Por último foi realizada a álgebra de mapas dos componentes da Equação 8 utilizando a ferramenta *Calculadora Raster*. Assim, o produto da integração dos fatores nessa equação é o fator topográfico (LS).

3.3.4. Fator de uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (CP)

Na determinação de perda de solo por erosão a influência da cobertura vegetal é definida pelo uso e cobertura da terra (C) e as práticas conservacionistas (P). Considera-se esse conjunto de fatores, por dependerem grandemente das atividades humanas em uma bacia hidrográfica, como o mais importante dentro dos parâmetros que afetam a erosão em uma região (GIL, 2017).

Para Wischmeier e Smith (1978) o fator de uso e cobertura da terra (C) é uma das ações de prevenção da erosão de maior relevância, uma vez que atinge o fator R, causando a redução da energia cinética das chuvas, e o parâmetro LS, minimizando a eficácia do relevo no escoamento superficial.

O valor relacionado ao elemento práticas conservacionistas (P) também é um condicionante de redução de erosão. O seu valor é obtido pela relação entre as perdas de solo previstas empregando uma determinada prática conservacionista e as perdas obtidas quando a cultura é guiada morro abaixo em solo nu (ARAÚJO, 2012). Assim sendo, como não ocorre a existência de práticas conservacionistas na bacia hidrográfica em estudo e já que a mesma não sofre intervenções antrópicas, assumiu-se o valor máximo de referência, ou seja, igual a 1 para o fator P.

Desse modo, já que esse trabalho apresenta o enfoque de estimar a perda de solo por erosão, e posto que o fator P possui valor igual a 1, então as variáveis C e P foram analisadas juntas. Assim, a distribuição espacial desses fatores está diretamente relacionada com a cobertura vegetal da bacia hidrográfica em estudo.

Nessa etapa os fatores C e P foram atribuídos com base na elaboração de mapas de uso e cobertura da terra, referentes aos anos escolhidos dentro do intervalo de 2005 a 2018. Buscou-se, então o mapeamento de uso e cobertura da terra para a área de estudo, considerando todos os anos desse intervalo, realizado pelo Projeto MapBiomass. Vale ressaltar que foram utilizadas sete classes para a cobertura do solo: corpo hídrico, caatinga arbustiva, caatinga arbórea, formação campestre, área artificial, solo exposto e agropecuária.

Para a escolha dos melhores anos para a geração dos mapas de perdas de solo, ou seja, os anos com variação das classes considerável entre eles, foi calculado o aumento anual (AI) em quilômetros quadrados, Equação 10, e a taxa normalizada de crescimento anual (AGR) em porcentagem, Equação 11, para a classe mais representativa nesses anos, segundo Espindola, Carneiro e Façanha (2017) e Wu *et al.* (2015).

$$AI = \frac{Pf - Pi}{d} \quad (10)$$

$$AGR = 100\% \left\{ \left(\frac{Pf}{Pi} \right)^{(1/d)} - 1 \right\} \quad (11)$$

Onde:









Pi a área obtida para a classe no período inicial (km²);

Pf a área obtida para a classe no período final (km²);

d é o intervalo de tempo em anos.

Desse modo, os anos com variação do uso e cobertura da terra mais notória foram escolhidos. Depois, foi realizada a validação em campo para medir a acurácia dos mapas obtidos. Essa etapa foi efetuada por meio da visita em campo à área em estudo, na qual as sete classes foram avaliadas por meio de interpretação visual, como é mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de uso e cobertura da terra encontradas na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela e suas respectivas interpretações

Classe de uso e cobertura da terra	Representação no mapa	Descrição da classe	Interpretação (Foto em campo)
Corpos hídricos		Contém os espelhos d'água.	
Caatinga arbustiva		Áreas com vegetação mais arbustiva, ou seja, de porte mais baixo, englobando vários tipos de fisionomias.	
Caatinga arbórea		Áreas compostas de vegetação densas, de elevado porte e arbustivas.	
Formação campestre		Áreas com gramíneas misturadas com arbustos de pequeno porte.	

Área artificial		Áreas com edificações e solos impermeabilizados.	
Solo exposto		Áreas que passaram por queimadas, desmatamento, extração de areia, deixando-as sem vegetação e com o solo exposto.	
Agropecuária		Áreas com cultivos temporários e permanentes e/ou pastagens introduzidas.	

Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente foi aplicada uma análise estatística conhecida como índice de Kappa, por meio da Equação 12 indicada por Fonseca, Silva e Silva (2007), que possibilitou a avaliação da qualidade da classificação dos mapas, fundamentada na Tabela 5.

$$IK = \frac{\Sigma fa - \Sigma fe}{N - \Sigma fe} \quad (12)$$

Onde:

IK é o índice de kappa que é adimensional

fa é o somatório das frequências observadas confirmadas com as classes do mapa correspondentes;

fe é o total de frequências esperadas;

N é o número total de observações.

Tabela 5 - Valores de referência para o índice de Kappa	
Índice de Kappa	Qualidade da classificação
< 0,0	Péssima
0,0 – 0,2	Ruim
0,2 – 0,4	Razoável
0,4 – 0,6	Boa
0,6 – 0,8	Muito boa
0,8 – 1,0	Excelente

Fonte: Moreira, 2011.

Verificada a acurácia dos mapas de uso e cobertura da terra, obtidos pelo Projeto MapBiomass, partiu-se para a atribuição dos valores de fator de uso e cobertura da terra (CP), por meio da literatura recomendada, como é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de CP utilizados no trabalho

Classe	Fator CP	Referência
Corpos hídricos	0,0	Machado <i>et al.</i> (2009)
Caatinga arbustiva	0,06	Creutzfeldt (2006)
Caatinga arbórea	0,02	Creutzfeldt (2006)
Formação campestre	0,01	Stein <i>et al.</i> (1987)
Área artificial	0,0001	Ferreira e Francisco (2009)
Solo exposto	1,0	Pulido (2012)
Agropecuária	0,1	Creutzfeldt (2006)

Fonte: Elaboração própria.

Depois da disposição dos valores de CP para cada classe de uso e cobertura da terra, foram gerados os mapas em formato *raster*, com pixel de 30x30 m, para o cruzamento com os demais fatores da RUSLE.

3.3.5. Erosão na bacia em estudo

Logo após a determinação de todos os fatores da RUSLE, realizou-se a álgebra de mapas por meio da ferramenta *Calculadora Raster* do *software* QGIS versão 3.4.8, conforme indicado na Equação 1, de maneira a apontar a taxa potencial de perda anual do solo por unidade de área por conta do escoamento superficial.

Posteriormente, definiu-se o grau de erosão da bacia, para os anos em estudo, de acordo com a classificação sugerida por Carvalho (2008), como é mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação do grau de erosão

Grau de erosão	Perda de solo (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Nulo a muito fraco	< 10
Fraco	10 - 15
Moderado	15 - 50
Moderado a forte	50 - 120
Forte	120 - 200
Muito forte	200

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2008.

4. CONTEXTUALIZAÇÃO AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA BARRAGEM PETRÔNIO PORTELA

A caracterização do meio físico e socioeconômico foi realizada a partir de levantamentos bibliográficos e cartográficos referentes aos temas hidrografia, vegetação, solos, geologia, relevo, uso e cobertura das terras, clima e dados socioeconômicos referentes à demografia, saúde, educação, renda e entre outros.

Segundo Cajuí (2018), a caracterização dos elementos ambientais da bacia em estudo permite a percepção inicial da performance desse sistema por meio de seus atributos físicos, que quando relacionados aos aspectos socioeconômicos propicia o conhecimento acerca das limitações e potencialidades do uso e ocupação de uma determinada área. À vista disso, pode-se resultar na proposição de medidas de uso que se adequem à realidade da bacia hidrográfica.

Silva (2007) acrescenta que a contextualização socioambiental possibilita o conhecimento ambiental e social de um determinado território, sendo um instrumento de informação de caráter qualitativo e quantitativo característico de uma determinada região, que reflete a afinidade da sociedade com o ambiente. Assim, esse recurso proporciona o estabelecimento de possíveis vulnerabilidades em uma área.

4.1. Área de estudo

O recorte espacial proposto para a pesquisa é a bacia hidrográfica do rio Piauí, até a barragem Petrônio Portela como exutório, estando localizada na região hidrográfica do Rio Parnaíba, mais especificamente dentro da bacia hidrográfica do rio Canindé/Piauí. A barragem Petrônio Portela é uma estrutura de terra zoneada com capacidade de 181.250.000,0 m³, que barra o Rio Piauí em seu trecho alto.

A bacia em análise possui uma área aproximadamente de 6.472,834 km², e está localizada no compartimento sudeste do estado do Piauí, correspondendo à 2,577% de sua área total, inserida totalmente na porção semiárida piauiense. A bacia está inserida entre as coordenadas 8°40' e 9°44' de latitude sul e entre 42°7' e 43°38' de longitude a oeste de Greenwich.

O acesso à bacia pode ser feito através da BR-343, de Teresina a Floriano, tornando-se em seguida a PI-140, de Floriano a São Raimundo Nonato. Vale ressaltar que a região proposta abrange onze municípios piauienses, que são eles: São Raimundo Nonato, São Lourenço do Piauí, Dirceu Arcoverde, Fartura do Piauí, São Braz do Piauí, Bonfim do Piauí,

Anísio de Abreu, Várzea Branca, Jurema, Caracol e Coronel José Dias. A Figura 3 apresenta o mapa de localização da bacia em estudo. Deve-se salientar que para uma caracterização quantitativa mais detalhada da área em estudo, a Tabela 8 apresenta a representação da extensão territorial de cada um dos municípios inseridos na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela.

Tabela 8 - Áreas dos municípios inseridos na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela e sua representatividade na bacia

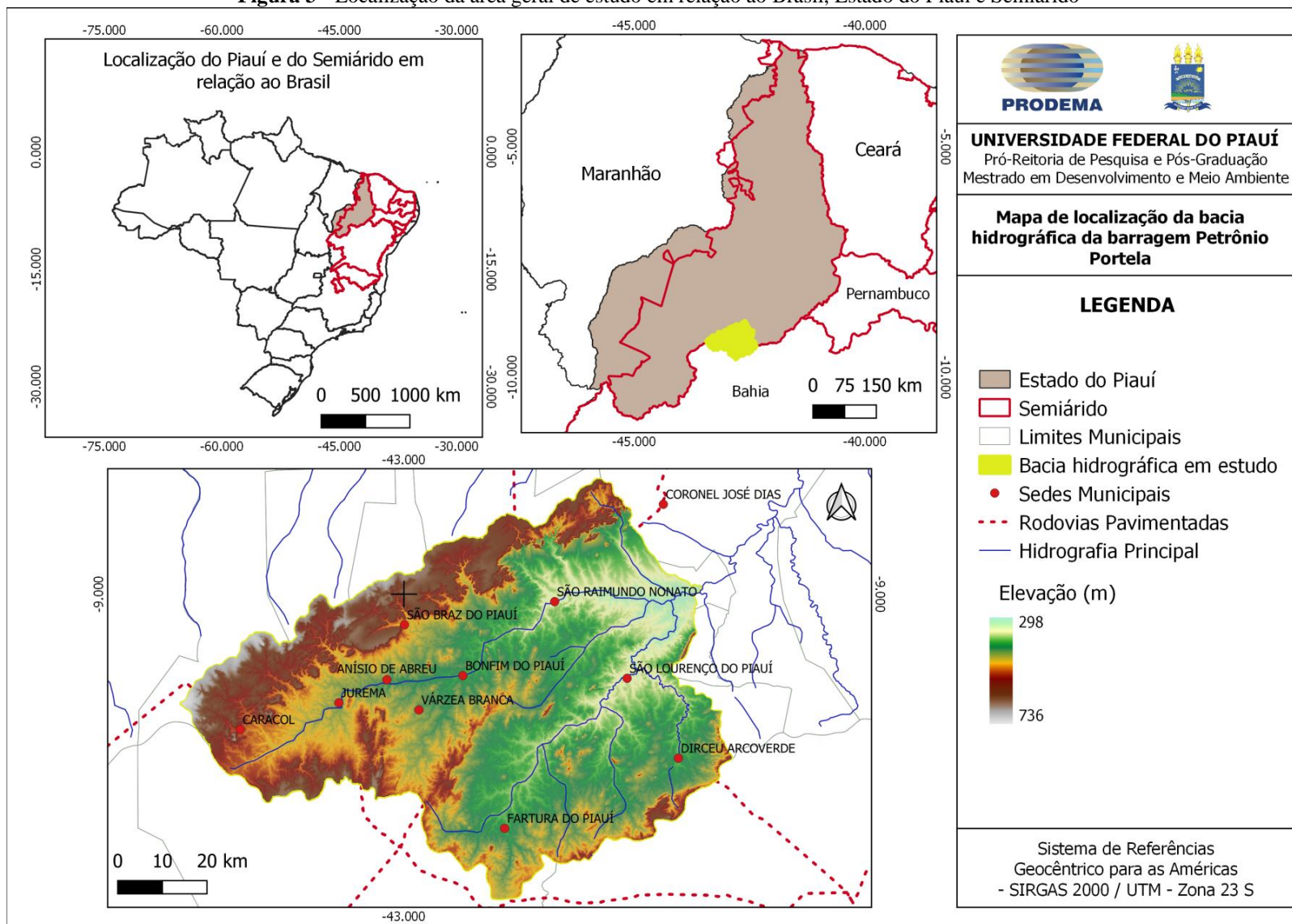
Município	Área nativa (km ²)	Área inserida na bacia (km ²)	Área inserida na bacia (%)	Taxa de apropriação da área municipal em relação a área total da bacia
Anísio de Abreu	338,09	338,09	100,00%	5,22%
Bonfim do Piauí	288,93	288,93	100,00%	4,46%
Caracol	1613,40	682,73	42,32%	10,55%
Coronel José Dias	1914,73	83,41	4,36%	1,29%
Dirceu Arcoverde	1017,63	786,45	77,28%	12,15%
Fartura do Piauí	713,01	713,01	100,00%	11,02%
Jurema	1251,16	528,50	42,24%	8,16%
São Braz do Piauí	649,46	344,74	53,08%	5,33%
São Lourenço do Piauí	671,79	546,19	81,30%	8,44%
São Raimundo Nonato	2412,51	1710,80	70,91%	26,43%
Várzea Branca	449,98	449,98	100,00%	6,95%

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4 traz a representação fotográfica da paisagem de alguns dos municípios que compõe a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, percebendo-se, de um modo geral, algum tipo de intervenção antrópica. O ponto 1 corresponde ao centro urbano do município de São Raimundo Nonato, enquanto o ponto 2 apresenta a zona rural de Coronel José Dias. Os pontos 3 e 4, representam uma unidade escolar, localizada na praça central de São Braz do Piauí e uma pequena igreja inserida em Anísio de Abreu, respectivamente.

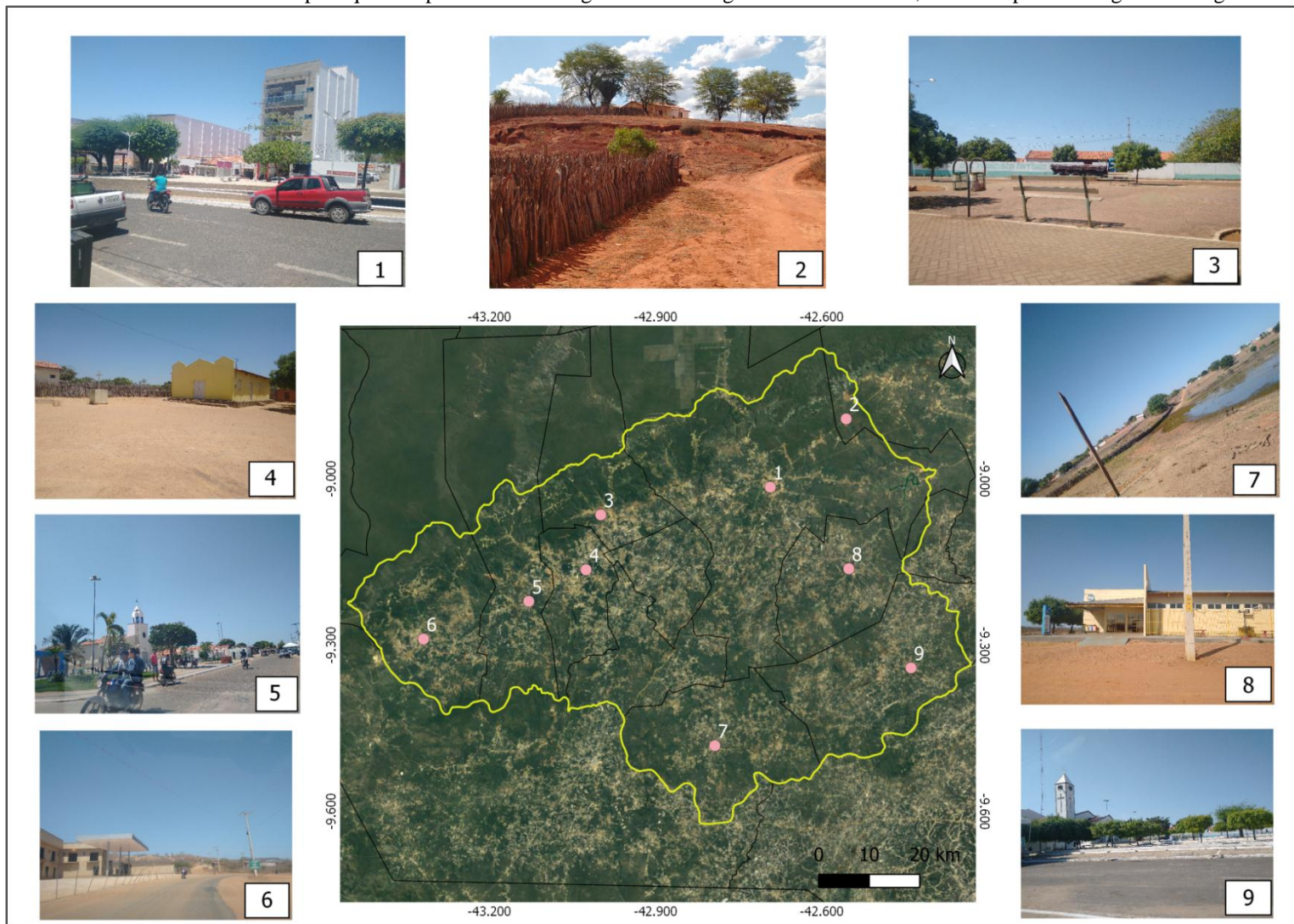
Os pontos 5 e 6 trazem a principal praça, contendo a igreja católica matriz, do município de Jurema e a entrada principal, cortada pela PI-144, de Caracol, nesta ordem. O ponto 7 apresenta um pequeno corpo hídrico localizado em Fartura do Piauí, com casas em seu entorno. Já os pontos 8 e 9 expõem uma unidade de saúde construída na cidade de São Lourenço do Piauí e o centro de Dirceu Arcoverde, contendo a sua igreja católica matriz, respectivamente.

Figura 3 - Localização da área geral de estudo em relação ao Brasil, Estado do Piauí e Semiárido



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 - Pontos amostrais nos municípios que compõe a bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela, e seus respectivos registros fotográficos em 2020



Fonte: Elaboração própria.

4.2. Hidrografia

De acordo com Costa (2018), uma das principais variáveis utilizadas para se entender a dinâmica de formação de uma bacia hidrográfica é a caracterização do meio físico, a partir da hidrografia, permitindo avaliar as diferentes dinâmicas, fluxos de massa e interações ecossistêmicas.

A hidrografia da bacia em análise é formada por somente um rio principal, o Piauí, conforme é mostrado na Figura 6. É importante destacar que a orientação geral dos cursos de água se faz em direção à calha do rio Parnaíba. Contudo, os trajetos do rio são controlados pela estruturação transversal das rochas por onde percorrem (ANA/SEMAR, 2006).

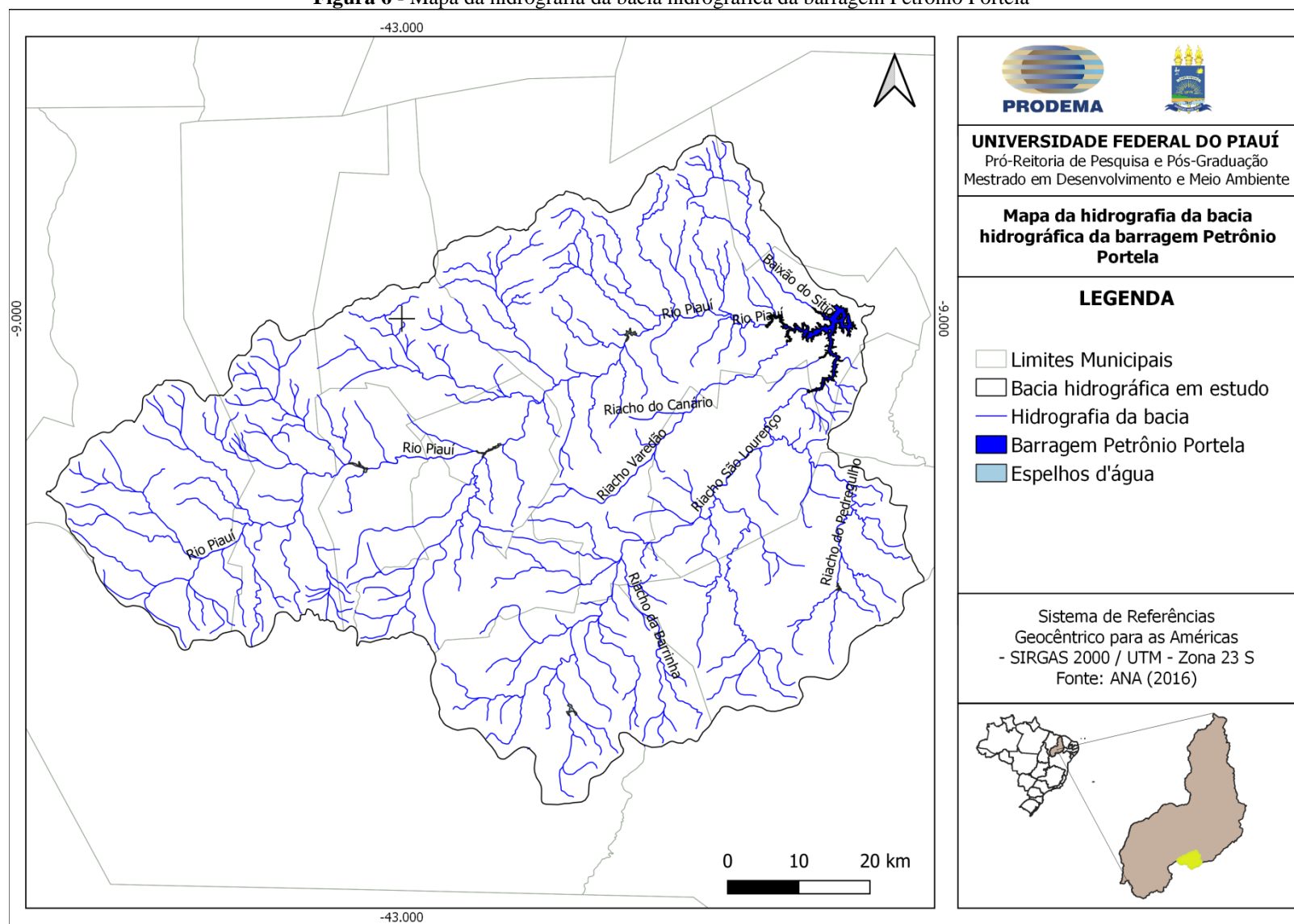
O rio Piauí, nasce no município de Caracol e, possui como formadores o sangradouro de lagoa localizada na Serra do Caracol e o ribeirão oriundo da Serra das Confusões, ambos no domínio do embasamento cristalino, a 600 m de altitude (ANA/SEMAR, 2006). O rio corta a cidade de Jurema (Figura 5), Anísio de Abreu, São Braz do Piauí, Várzea Branca e Bonfim do Piauí; atravessa São Raimundo Nonato e Coronel José Dias, atinge São João do Piauí, passando por Ribeira do Piauí e São José do Peixe, cidade essa onde recebe o rio Fidalgo. Atravessa, ainda, São Francisco do Piauí e Nazaré, formando nesse município a lagoa de Nazaré, posteriormente deságua no rio Canindé, a aproximadamente 7 km de Francisco Ayres (LEÃO, 2008).

Figura 5 - Trecho do Rio Piauí no município de Jurema



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 6 - Mapa da hidrografia da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela



Fonte: Elaboração própria.

Leão (2008) destaca que o rio Piauí, mesmo com a sua natureza torrencial, é o rio da bacia do Parnaíba que mais demora a encher. Por conta disso, o rio deixa de apresentar fluxo de água várias vezes no período da estiagem. Os principais afluentes do rio até o local da barragem são: Riacho do Pedregulho, Riacho São Lourenço, Riacho da Barrinha, Riacho Varedão, Riacho Canário e Baixão do Sítio.

De acordo com a ANA/SEMAR (2006), o rio Piauí apresenta intermitência em consequência da formação geomorfológica e geológica da bacia, uma vez que os cursos de água mais importantes nascem no embasamento cristalino, apresentando fraca condição de retenção de água, somado ao fato da bacia estar inserida em uma região semiárida, com baixas e irregulares precipitações. Nesse contexto, o rio eventualmente pode adquirir caráter de perenidade, ao percorrer a bacia sedimentar, já que passa a receber a contribuição, fornecida pelos aquíferos principais de água subterrânea, como os aquíferos Serra Grande e Cabeças.

4.3. Características morfométricas da bacia

Foram abordadas algumas características fisiográficas e morfométricas da bacia em estudo para a melhor compreensão do comportamento ambiental na área. De acordo com Villela e Mattos (1975), esses elementos são de grande importância no desempenho hidrológico de uma bacia hidrográfica.

Tais autores afirmam que existe uma relação íntima entre o comportamento hidrológico e as características fisiográficas e morfométricas, pois ao se estabelecerem correspondências e comparações entre essas características e dados hidrológicos conhecidos, pode-se realizar a determinação indireta de valores hidrológicos em locais ou seções nos quais faltem dados ou em regiões de interesse onde, por causa de fatores econômicos ou físicos, não seja possível a instalação de estações hidrométricas. Na Tabela 9 são apresentadas as principais características físicas da bacia em estudo.

Para o cálculo dos coeficientes de forma, drenagem e relevo, utilizou-se as características físicas. O fator de forma é um indicador de maior ou menor tendência a enchentes em uma determinada bacia. Assim, uma bacia que possui esse fator baixo possui menos possibilidade da ocorrência de cheias que outra com mesma área, porém com fator de forma maior. Isso se deve ao fato de que uma região com o formato estreito e longo, com o fator de forma baixo, possui uma menor tendência ao acontecimento de enchentes cobrindo simultaneamente toda a sua extensão. Dessa maneira, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo (VILLELA; MATTOS, 1975).

Tabela 9 - Características físicas fundamentais da bacia hidrográfica em estudo

Características físicas	Barragem Petrônio Portela
Área (km²)	6472,83
Perímetro (km)	415,87
Comprimento do Rio Principal (km)	153,68
Comprimento do eixo (km)	119,31
Comprimento do Talvegue (km)	105,22
Comprimento total da drenagem (km)	2369,02
Cota Máxima do rio principal (m)	680,00
Cota mínima do rio principal(m)	310,00
Ordem do Rio Principal	5°

Fonte: Elaboração própria.

Para o cálculo do fator de forma da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela o valor encontrado foi igual a 0,4547. Isso demonstra que a bacia possui pouca tendência a ocorrência de cheias, já que se podem interpretar os seguintes resultados, conforme os valores obtidos para esse fator: 1,00 a 0,75 bacias com alta propensão a grandes enchentes; 0,75 a 0,50 tendência mediana a grandes enchentes e; menor que 0,50 para bacias não sujeitas a grandes enchentes (PAZ, 2004).

Já o índice de compacidade é um fator que sempre terá seu valor maior que 1, se fosse igual a 1 o formato da bacia seria de um círculo perfeito. Quanto menor o coeficiente, ou seja, mais próximo de 1, maior será a tendência a ocorrência de grandes enchentes (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007). Para a bacia em estudo encontrou-se o coeficiente de compacidade igual a 1,447. Nesse sentido, isso indica que a bacia possui um formato mais irregular, não dispondo de grandes possibilidades para existência de cheias.

Quanto à análise da drenagem da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, conforme é observado na Tabela 9, a bacia classifica a ordem de seus cursos d'água como de 5° ordem, mostrando um bom grau de ramificação de sua rede de drenagem. Nesse contexto, Villela e Mattos (1975) afirmam que para se ter conhecimento acerca da eficiência da drenagem em uma bacia, é importante compreender a sua densidade, uma vez que esse coeficiente varia inversamente com a extensão do escoamento superficial. Os autores completam que esse coeficiente apresenta uma variação de 0,5 km/km² ou menos, para bacias com drenagem pobre, até 3,5 km/km² ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas. A bacia em estudo apresentou a densidade de drenagem igual a 0,366, demonstrando uma

densidade de drenagem pobre, com uma influência considerada pequena no transporte de sedimentos resultantes da erosão do solo.

Quanto ao rio principal, Gil (2017) destaca que a sua sinuosidade é influenciada principalmente pela carga de sedimentos, pela estrutura geológica, compartimentação litológica e pela declividade dos canais, representando a divagação dos cursos d'água, sendo responsável pelo controle da velocidade de escoamento das águas. A autora ainda afirma que valores de sinuosidade menores que 1,5 indicam um baixo padrão de sinuosidade do rio, assim como o do rio Piauí, rio principal da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, que apresentou o valor de sinuosidade equivalente a 1,46.

Em relação ao relevo da bacia, segundo Villela e Mattos (1975) a declividade dos canais fluviais interfere na velocidade de escoamento de um rio. Dessa forma, quanto mais elevada for a declividade, maior será a velocidade de escoamento, resultando nos hidrogramas das enchentes bem mais pronunciados e estreitos. Assim, de acordo com Gil (2017), isso facilitaria o transporte de sedimentos no rio e a deposição naqueles trechos. Para a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela calculou-se a declividade do rio Piauí baseado em seus extremos, encontrando-se o valor de 0,003 m/m.

4.4. Geologia

Do ponto de vista geológico a área de estudo repousa em três provinciais estruturais: Parnaíba, Borborema e São Francisco. A província Parnaíba representa o preenchimento de depressões intacratônicas de evolução policlínica, resultando na origem de compartimentações sedimentares de características distintas. A província de Borborema exibe um quadro composto por conjuntos de intricada evolução geológica em tempos arqueanos-proterozóicos. Já a província São Francisco apresenta a unidade geotônica que compõe o Escudo Atlântico, que é uma das porções da plataforma Sul-Americana a escapar dos efeitos resultantes da orogenia brasiliana no Neoproterozóico (FREITAS, 2017; MMA, 2006; ALMEIDA, 1977).

A estrutura geológica do território da bacia é composta por dois tipos de terreno, o embasamento cristalino e a bacia sedimentar do Parnaíba. Segundo Cajuí (2018), o embasamento cristalino é a estrutura geológica mais antiga e oriunda do Pré-Cambriano. O domínio do cristalino é composto pelo grupo Caraíba, de rochas de maior grau de metamorfismo e mais antigas, e pelo grupo Salgueiro, de rochas de baixo a médio grau de metamorfismo (ANA/SEMAR, 2006).

A bacia sedimentar do Parnaíba é considerada uma das formações geológicas maiores do Nordeste, sendo uma formação arenosa do Siluriano-Devoniano (LEMOS; RODAL, 2002). Essa bacia sedimentar possui um expressivo registro sedimentar resultante de rochas do período Paleozóico, ocorrendo, também, rochas mesozoicas e sedimentos cenozoicos (FREITAS, 2017). De acordo com a ANA/SEMAR (2006), são encontradas na bacia sedimentar do Parnaíba várias formações, entre as quais estão a Formação Serra Grande, a Formação Pimenteiras e a Formação Cabeças.

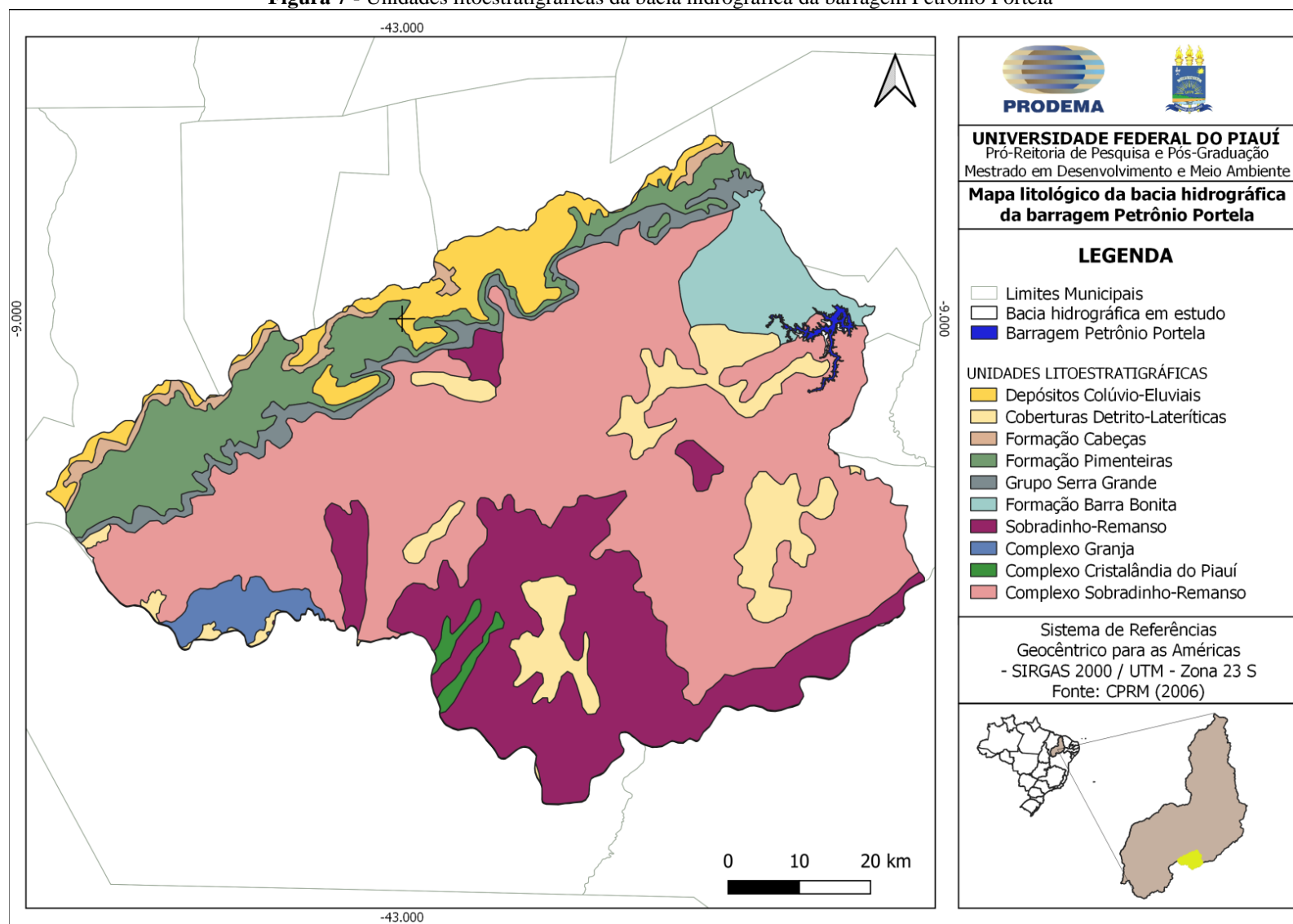
Nesse sentido, conforme o levantamento disponibilizado pela CPRM (2006), a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela compreende onze unidades litoestratigráficas, as quais são cenários de processos complexos, ajudando a forjar a compartimentação do relevo (CAJUÍ, 2018). A Tabela 10 e a Figura 7 trazem a representação simplificada da geologia da bacia em estudo.

Tabela 10 - Unidades litológicas existentes na bacia em estudo

Unidade litoestratigráfica	Constituição litológica	Área presente na bacia (km ²)	Área presente na bacia (%)
Depósitos Colúvio-Eluviais	Sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos	335,01	5,18
Coberturas Detrito-Lateríticas	Areias com níveis de argilas e cascalhos e crosta laterítica	512,72	7,92
Formação Cabeças	Arenitos e siltitos	92,34	1,43
Formação Pimenteiras	Arenitos, siltitos e folhelhos	576,52	8,91
Grupo Serra Grande	Conglomerados, arenitos e intercalações de siltitos e folhelhos	210,91	3,26
Formação Barra-Bonita	(Cianita)-(estauroilita)-granadamica xistos	287,12	4,44
Sobradinho-Remanso	Granitos e granodioritos, gnaissificados, localmente porfiroclásticos, calcialcalinos de alto K, metaluminosos	1225,49	18,93
Complexo Granja	Ortognaisses TTG associados a migmatitos bandados, localmente milonitizados (2355 Ma U-Pb)	108,24	1,67
Complexo Cristalândia do Piauí	Corpos máfico-ultramáficos indiferenciados	41,44	0,64
Complexo Sobradinho-Remanso	Ortognaisses migmatíticos, tonalítico-trondhjemíticos e granodioríticos, com enclaves máficos e restos de rochas supracrustais	3083,05	47,63

Fonte: Adaptado CPRM, 2006.

Figura 7 - Unidades litoestratigráficas da bacia hidrográfica da barragem Petrólio Portela



Fonte: Elaboração própria.

4.5. Geomorfologia

De uma maneira geral, é possível identificar na bacia em estudo três feições de relevo: Depressões, Chapadas e Patamares. As compartimentações do relevo encontradas na região da bacia hidrográfica podem ser observadas na Figura 8.

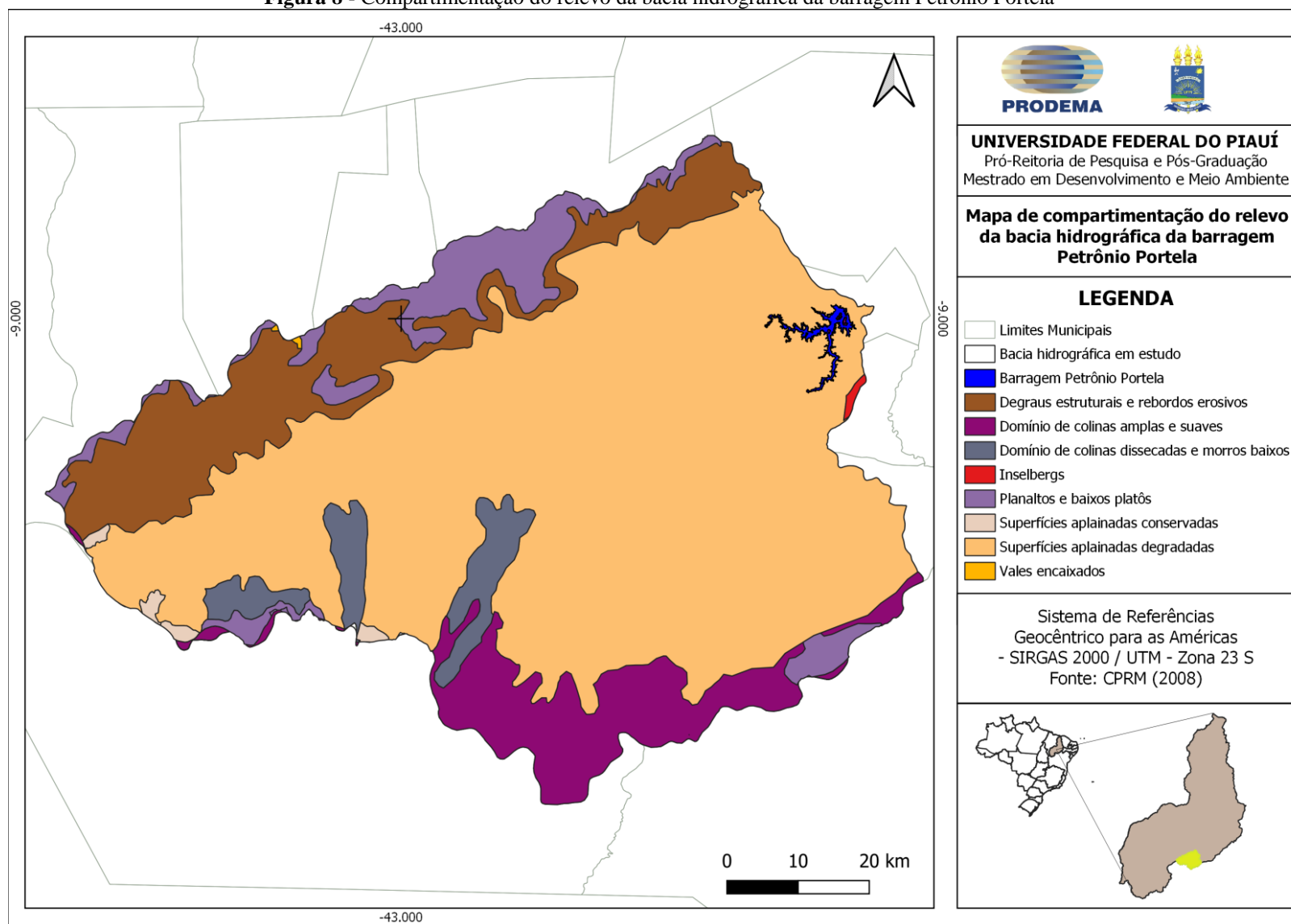
De acordo com Lima (1987), as depressões encontradas na área analisada localizam-se primordialmente na unidade estrutural do embasamento cristalino, pertencente ao núcleo nordestino do escudo brasileiro, datado do Pré-Cambriano. Observa-se que esse tipo de relevo predomina na região e topograficamente corresponde a uma área deprimida com um nível de base local de no máximo 400 m de altitude. Essa autora ainda destaca que os solos que ocupam essas formas de relevo apresentam-se pouco intemperizados, possuindo espessura pouco profunda. Cajuí (2018) destaca que nas depressões é comum a existência de uma forma de compartimentação de relevo conhecida como inselbergs, que são originados de um intenso processo erosivo característico de ambientes áridos e semiáridos.

As chapadas são denominações utilizadas no Brasil para as superfícies por vezes horizontais e a mais de 600 m de altitude (GUERRA, 1993). Essa forma de relevo também pode ser chamada de planalto e, observa-se nesses conjuntos as formas locais de vales de fundo chato, platôs e feições ruiformes. Nesse sentido, estas áreas encontram-se praticamente desabitadas antropicamente, apresentando uma vegetação de caatinga arbustiva e sobre os afloramentos rochosos nas vertentes ocorre a presença de crostas ferruginosas, ocorrendo abrigos de pinturas rupestres (LIMA, 1987).

Já os patamares, segundo Guerra (1993), correspondem a superfícies planas que interrompem a continuidade do declive de uma vertente, podendo ser motivados devido à estrutura ou por uma retomada de erosão. Lima (1987) revela que, nessas extensões ocorrem vales pedimentares de fundos chatos, que são limitados por vertentes majoritariamente retilíneas que se elevam em patamares estruturais até os níveis de superfícies de cimeira. Dessa forma, dentre eles se destacam os canyons ou boqueirões formados pelo rio Piauí, que atualmente se apresentam bastante alargados devido a erosão lateral.

Quanto à hipsometria da bacia hidrográfica em estudo, a Figura 6 apresenta a altimetria desde os níveis mais elevados, com cota máxima de 737 metros, até os níveis menos elevados, com cota mínima de 298 metros. Já as declividades são mais acentuadas nas áreas ao redor de morros e nas nascentes dos tributários do rio da bacia.

Figura 8 - Compartimentação do relevo da bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela



Fonte: Elaboração própria.

4.6. Pedologia

A pedologia, deriva do nome grego pedon, é o nome dado ao estudo dos solos no seu ambiente natural. O solo é um recurso natural importante, pois promove de forma direta ou indireta a conservação do equilíbrio biológico e ecológico de determinada região ou área (MOURA *et al.*, 2017). Bertoni e Lombardi Neto (2012) reiteram que para cada tipo de solo existente na natureza encontra-se uma capacidade diferente de erodir-se, independente da cobertura vegetal ou mesmo das formas de uso, da intensidade e duração das precipitações e da declividade. Isso ocorre devido às características próprias de cada solo.

De acordo com Araújo Filho *et al.* (2010), dentre os solos que se destacam em termos de expressão geológica no contexto do bioma Caatinga estão os Argissolos, Planossolos, Latossolos, Neossolos e Luvisolos. Na bacia hidrográfica em estudo predominam os solos Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, conforme está apresentado na Tabela 11, podendo ser observado na Figura 9.

Tabela 11 - Classes de solos, associações, suas respectivas características e áreas encontradas na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela

Classe de solo predominante	Associações	Textura	Horizonte	Área presente na bacia (km ²)	Área presente na bacia (%)
	LA21 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico	Média e argilosa	A moderado	468,71	7,24%
LATOSSOLOS AMARELOS	LA22 - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico e petroplântico+ ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico petroplântico e plântico + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e Eutrófico típico	Média e argilosa; média e média/argilosa ; média e arenosa	A moderado	148,32	2,29%
	LA33 - LATOSSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico latossólico, típico ou petroplântico	Média e média/argilosa	A moderado	2321,34	35,86%

	LA37 - LATOSSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eustrofico latossólico, plíntico ou petroplíntico	Média e média/argilosa	A fraco e moderado	113,27	1,75%
LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS	LV2 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO e AMARELO Distrófico e Eutrófico típico + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico petroplíntico, plíntico e típico	Média e Argilosa; média e média/argilosa ;	A moderado	73,58	1,14%
	PE18 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico e Distrófico petroplíntico ou plíntico	Média e média/argilosa ; média e argilosa	A moderado	846,55	13,08%
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS	PE23 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico e Distrófico latossólico, petroplíntico e plíntico + PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico e Distrófico típico + PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico + LATOSSOLO AMARELO Distrófico e Eutrófico	Média e média/argilosa ; arenosa, média e média/argilosa ; média	A fraco e moderado	138,75	2,14%
	PE24 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico e Distrófico petroplíntico, plíntico e latossólico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico	Média e média/argilosa ; arenosa e média	A fraco e moderado	335,40	5,18%
	PE25 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico petroplíntico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + LUVISSOLO CRÔMICO Pálico vertissólico e típico	Média e média/argilosa ; arenosa e média; média/argilosa	A fraco e moderado	494,33	7,64%
	PE26 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico petroplíntico e típico + LUVISSOLO CRÔMICO Pálico vertissólico e típico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico	Média e média/argilosa ; média/argilosa ; arenosa é média	A fraco e moderado	361,44	5,58%

	PV18 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico petroplântico e típico + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e Eutrófico típico + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico	Média e média/argilosa ; arenosa e média; média	A moderado	98,61	1,52%
	R10 - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico	Arenosa e média; média	A fraco e A moderado	81,92	1,27%
	R18 - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico e Eutrófico petroplântico e típico + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico	Média e arenosa; média e média/argilosa ; média	A moderado e fraco	409,82	6,33%
	R19 - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico petroplântico, plântico e típico	Média e arenosa; média e média/argilosa	A moderado e fraco	20,38	0,31%
NEOSSOLOS LITÓLICOS	R20 - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico e Eutrófico petroplântico e típico + AFLORAMENTO DE ROCHAS	Média e arenosa; média e média/argilosa	A moderado e fraco	274,41	4,24%
	R26 - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e Distrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico petroplântico e típico + AFLORAMENTO DE ROCHAS	Média e arenosa; média e média/argilosa	A moderado e fraco	119,40	1,84%
	R27 - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e Distrófico típico+ ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico petroplântico e típico + LUVISSOLO CRÔMICO Pálico vertissólico e típico	Arenosa e média; média e média/argilosa ; média/argilosa	A fraco e moderado	21,41	0,33%
	R28 - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta e Tb Eutrófico típico + AFLORAMENTO DE ROCHAS	Média e arenosa; média e argilosa	A moderado	5,45	0,08%

NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	RE -NEOSSOLO REGULÍTICO Distrófico e Eutrófico típico e fragipânico + PLANOSSOLO NÁTRICO Órtico típico e PLANOSSOLO HÁPLICO	Arenosa; arenosa e média/argilosa	A fraco	139,74	2,16%
	Eutrófico solódico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico plântico e típico	; arenosa e média; média e arenosa/média			

Fonte: Adaptado de Jacomine, 1986.

As características desses solos, segundo Santos *et al.* (2018) e Silva (2000), são as seguintes:

- Latossolos Amarelos: são os solos que apresentam a coloração amarelada em função dos tipos e da quantidade dos óxidos de ferro presentes. Os latossolos abrangem os solos compostos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, com exceção do hístico. Vale ressaltar que são solos com avançado estágio de intemperização, por isso apresentam uma morfologia muito uniforme ao longo do perfil, sendo considerados muito evoluídos como resultado de transformações no material constitutivo enérgicas. Normalmente são solos muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a um metro, e são friáveis, porosos, de textura variável e com argila de atividade baixa (Tb). Geralmente apresentam o escoamento superficial muito fraco, porém nos solos concrecionários (lateríticos) ou de textura argilosa o escoamento pode apresentar valores médios. Em zonas semiáridas, como a da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, esses solos podem apresentar saturação por bases médias e até mesmo altas e, os solos podem apresentar alta erodibilidade à medida que permanecem desnudos.

Na bacia em estudo são encontrados latossolos amarelos distróficos, ou seja, que apresentam baixa fertilidade, e eutróficos, isto é, solos de maior fertilidade. Esses solos abrangem cerca de 47,15% da bacia, ocorrendo em situações de relevo plano e suavemente ondulado.

- Latossolos Vermelho-Amarelos: as características desse tipo de solo se assemelham as dos latossolos amarelos, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade, ocorrendo em ambientes bem drenados. Os latossolos vermelho-amarelos apresentam a

coloração vermelho-amarelada e/ou amarelo-avermelhada, em função dos tipos e das quantidades de óxidos de ferro presentes. Frequentemente são utilizados para a agropecuária, apresentando limitações pelos baixos teores de fósforo e baixa quantidade de água disponível às plantas.

Os latossolos vermelho-amarelos encontrados na bacia em estudo também são distróficos e eutróficos, possuindo saturação por bases menor que 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (até mesmo BA). Esse tipo de solo corresponde a 1,14% da área total da bacia, e são encontrados em relevos planos e suavemente ondulados.

- Argissolos Vermelho-Amarelos: são solos compostos por material mineral, que apresenta horizonte B textural, com argila de atividade baixa, ou que pode ser alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. São considerados solos bem desenvolvidos, apresentando um gradiente de textura em profundidade, como consequência da acumulação de argila dos horizontes superiores. É importante destacar que esse tipo de gradiente denota ao solo classes divergentes de drenagem interna, tornando esses solos susceptíveis à erosão hídrica. Os argissolos vermelho-amarelos apresentam a coloração amarelo-avermelhada e/ou vermelho-amarelada e, para a sua correta utilização exige-se um manejo adequado com a adoção de adubação, correção e de práticas conservacionistas para o controle de possíveis erosões.

Os argissolos vermelho-amarelos presentes na bacia classificam-se no terceiro nível como eutróficos e distróficos, com saturação por base maior ou igual a 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA), correspondendo a, aproximadamente, 35,15% da área total. Tais solos encontram-se mais em regiões de relevo suavemente ondulado, porém também estão localizados, em menor quantidade, em relevos planos.

- Neossolos Litólicos: são solos formados por material mineral, não apresentando nenhum tipo de horizonte B, ou seja, são solos rasos, onde a soma de horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm. Nesses solos o horizonte A é assentado diretamente sobre a rocha, sobre horizonte C e/ou Cr, ou sobre material com 90% ou mais de seu volume ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm. Normalmente os neossolos litólicos possuem textura média, com baixa capacidade de armazenamento de água e nutrientes, sendo extremamente susceptíveis à ocorrência de erosão.

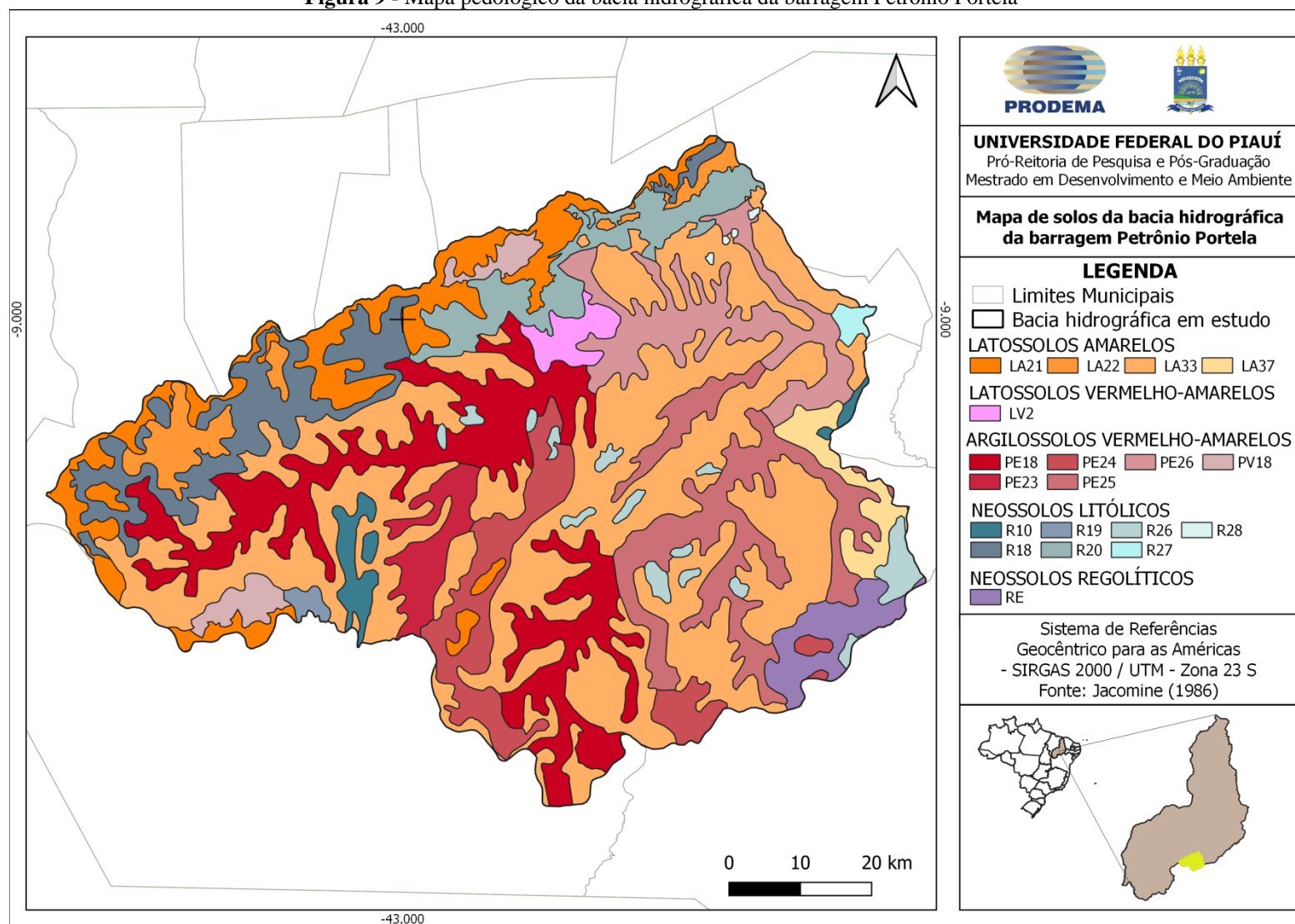
Os neossolos litólicos encontrados na bacia são do tipo distróficos e eutróficos, correspondendo a 14,41% da área total. Esses solos se encontram principalmente em áreas de

relevo ondulado e fortemente ondulado, porém à presença reduzida em relevos suavemente ondulados.

- Neossolos Regolíticos: são solos líticos ou líticos fragmentários a uma profundidade maior que 50 cm e horizonte A sobrejacente a horizonte Cr ou C, apresentando também 5% ou mais do volume de massa do horizonte Cr ou C dentro de 150 cm de profundidade, ou 4% ou mais de minerais primários facilmente alteráveis na fração cascalho e/ou na areia. Geralmente são pouco desenvolvidos, manifestando alta erodibilidade em regiões com declives exacerbados.

Os neossolos regolíticos presentes na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela são distróficos e eutróficos, equivalendo a aproximadamente 2,16% da área total, e se encontram em um relevo plano e suavemente ondulado.

Figura 9 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela



Fonte: Elaboração própria.

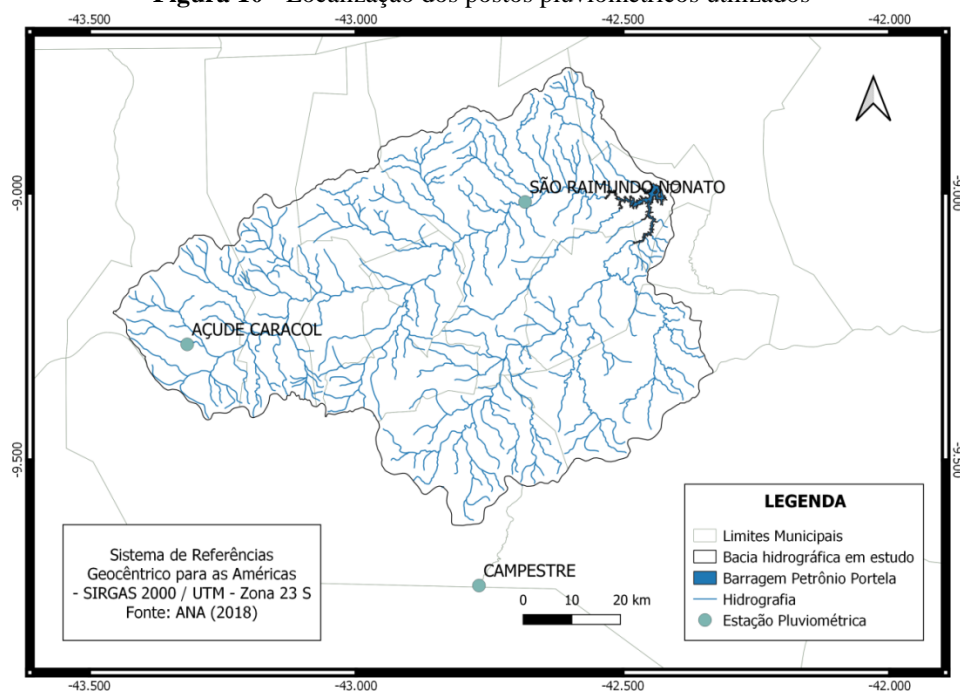
4.7. Aspectos hidroclimáticos

Segundo a classificação climática de Köppen a área de estudo se caracteriza como sendo do tipo BSh, ou seja, clima semiárido que associado ao arranjo e irregularidade das precipitações, proporciona nesta zona duas estações: a seca, que é denominada regionalmente de verão, e a chuvosa, conhecida popularmente como inverno (LEÃO, 2008).

A variabilidade climática é uma particularidade do clima semiárido e, dentre os principais fatores que a determinam estão a posição geográfica, as características da superfície, o relevo e os sistemas de tempo atuantes na região. Nesse contexto, o mais importante causador de chuvas nessa região é a zona de convergência intertropical (ZCIT), que apresenta no Atlântico a convergência dos ventos alísios Norte e Sul, com movimentos ascendentes, nebulosidades, baixas pressões e chuvas abundantes. Assim, a ZCIT é o principal mecanismo dinâmico responsável pela ocorrência de chuvas no semiárido nordestino, no qual está inserida a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela (MARENGO *et al.*, 2011).

Para a caracterização pluviométrica foram utilizados três postos pluviométricos (Figura 10) com um período de 31 anos acessíveis (1964-1994) com poucas falhas. A ficha técnica dos postos utilizados se encontra na Tabela 12 e seus dados referentes à série histórica são mostrados em anexo.

Figura 10 - Localização dos postos pluviométricos utilizados



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12 - Ficha técnica dos postos pluviométricos utilizados

Nome da Estação	Código	Órgão Responsável	Município	Data da instalação	Latitude (S)	Longitude (W)
Campestre	942020	DNOCS	Pilão Arcado (BA)	1911	-9,74	-42,77
Açude Caracol	943000	DNOCS	Caracol (PI)	1914	-9,28	-43,32
São Raimundo Nonato	942005	DNOCS	São Raimundo Nonato (PI)	1910	-9,02	-42,68

Fonte: Adaptado de Hidroweb – ANA.

A partir da Tabela 13 pode-se perceber que a quadra chuvosa compreende os meses de janeiro a março, revelando uma média anual de 661,6 mm para a região, com variabilidade pluviométrica anual baixa, de 37%. O mês de março é tido como o mais chuvoso, considerando a série histórica utilizada, no qual ocorre a concentração média de aproximadamente 19,2% do total anual. No intervalo de novembro a abril acumula-se 92% da precipitação anual e essa porcentagem sobe para 97% se for incluído outubro, demonstrando forte sazonalidade das chuvas na estação chuvosa.

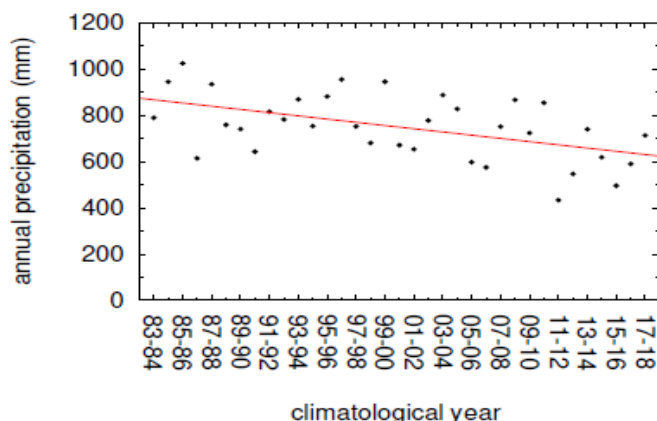
Tabela 13 - Precipitação média mensal (mm) na bacia em estudo (1964-1994)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Média	119,5	110,5	126,8	78,2	9,4	1,7	1,4	0,7	5,0	31,8	78,1	98,5	661,6
Desvio Padrão	83,4	80,6	76,8	60,9	14,7	3,3	4,4	2,3	9,2	35,4	51,6	62,7	245,3
Coefficiente de Variação	70%	73%	61%	78%	156%	195%	307%	321%	185%	111%	66%	64%	37%

Fonte: Elaboração própria.

O mês de agosto é considerado o mais seco, no qual ocorre a concentração de apenas 0,11% da precipitação anual. Sparacino, Argibay e Espindola (s.d.) ao realizarem o estudo pluviométrico para uma região que compreende grande parte da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, afirmaram que nessa área a duração média da estação seca é de 34 a 214 dias, sendo 1,41 vezes maior que a duração das chuvas, 26 a 152 dias. Os autores também afirmam que o número de dias secos consecutivos está aumentando, resultando, em uma tendência a longo prazo na diminuição significativa da precipitação anual, como é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Precipitação anual para os anos climatológicos entre julho de 1983 e junho de 2018 e sua tendência linear



Fonte: Sparacino, Argibay e Espindola, s.d.

Para a análise dos demais índices climatológicos foi utilizado a estação climatológica Caracol, para o período disponível de 1981 – 2010. A ficha técnica dessa estação se apresenta na Tabela 14.

Tabela 14 - Ficha técnica da estação climatológica de Caracol - PI

Nome da Estação	Código	Órgão Responsável	Município	Data da instalação	Latitude (S)	Longitude (W)
Caracol	943010	INMET	Caracol (PI)	1975	-9,28	-43,33

Fonte: Adaptado de INMET.

A temperatura média anual para a bacia em estudo se situa por volta de 24,8 °C, já as temperaturas máxima e mínima são de 31,6 °C e 19 °C, respectivamente. As maiores temperaturas ocorrem no mês de outubro, enquanto os valores mais baixos acontecem nos meses de junho e julho, exceto as temperaturas máximas que possuem o seu menor valor no mês de março, que é o mais chuvoso. De acordo com a ANA/SEMAR (2006) a temperatura nessa região é influenciada principalmente pela latitude associada à altitude e, apresenta pouca variação temporal ao longo do ano.

Em termos de umidade relativa do ar, a média na bacia gira em torno de 62,3%, transcorrendo os maiores índices entre janeiro e abril, atinge o valor máximo no mês de março, e os menores de julho a outubro, sendo setembro o mês mais seco com apenas 46,6% de umidade, fato esse que favorece demasiadamente o processo de evapotranspiração.

No que se refere à evaporação média na bacia, medida em Tanque Classe A, o clima da região apresenta elevadas taxas no decorrer do ano, sendo por volta de 2327,9 mm/ano. Esse valor representa perdas hídricas acentuadas, especialmente dos volumes de água

acumulados em superfícies livres, coerentes com o semiárido nordestino. As taxas mais elevadas de evaporação foram observadas durante os meses de junho a novembro, variando de 223,3 a 310,3 mm. Já de dezembro a maio os índices, medidos na bacia, são mais baixos variando de 89,5 a 154,5 mm.

Quanto ao balanço hídrico climatológico da região, a Tabela 15 exibe que a bacia apresenta alta taxa de evapotranspiração anual com o valor de 1778,5 mm ano⁻¹, tendo total deficiência hídrica e ausência de excedente hídrico. Para Aquino e Oliveira (2013) a determinação desses componentes para uma região permite um conhecimento da realidade climática da área avaliada, oferecendo condições de compatibilização entre a água retida no solo e as diferentes formas de utilização do mesmo. Assim, a bacia hidrográfica em estudo oferece uma fragilidade climática, e é necessária a utilização de sistemas de irrigação, em atividades agrícolas, para suprir a deficiência hídrica no solo.

Tabela 15 - Balanço Hídrico Climatológico da bacia hidrográfica em estudo

Mês	ETP	P	P-ETP	NAC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Jan	156,5	119,5	-37	-2045	0	0	119	37	0
Fev	130,5	110,5	-20	-2065	0	0	111	20	0
Mar	133,9	126,8	-7,1	-2072,1	0	0	127	7	0
Abr	123	78,2	-44,8	-1000	0	0	78	45	0
Mai	126,2	9,4	-116,8	-1116,8	0	0	9	117	0
Jun	109,6	1,7	-107,9	-1224,7	0	0	2	108	0
Jul	115,8	1,4	-114,4	-1339,1	0	0	1	114	0
Ago	141,7	0,7	-141	-1480,1	0	0	1	141	0
Set	174,2	5	-169,2	-1649,3	0	0	5	169	0
Out	203,5	31,8	-171,7	-1821	0	0	32	172	0
Nov	192,8	78,1	-114,7	-1935,7	0	0	78	115	0
Dez	170,8	98,5	-72,3	-2008	0	0	99	72	0
Ano	1778,5	661,6	-1116,9	-19757	0,0	0,0	661,6	1116,9	0
Média	148,2	55,1	-93,1	-1646,4	0,0	0,0	55,1	93,1	0

Fonte: Elaboração própria.

4.8. Vegetação

Na bacia em estudo predomina o bioma Caatinga. De acordo com o MMA (2006), a Caatinga é o principal ecossistema encontrado na região Nordeste do Brasil, ocorrendo originalmente em uma área equivalente a 844.453 km². Esse bioma é considerado único, pois apesar de estar fixado em uma área de clima semiárido, apresenta uma grande variedade de paisagens, endemismo e relativa riqueza biológica.

De acordo com Antongiovanni, Venticinque e Fonseca (2018) a Caatinga perdeu aproximadamente metade de sua vegetação original, porém a maior parte da área restante se encontra em grandes fragmentos, bem conectados entre si. Este padrão de fragmentação da paisagem possui potencial para abrigar populações viáveis das espécies mais sensíveis, facilitando a persistência de sua biodiversidade a longo prazo.

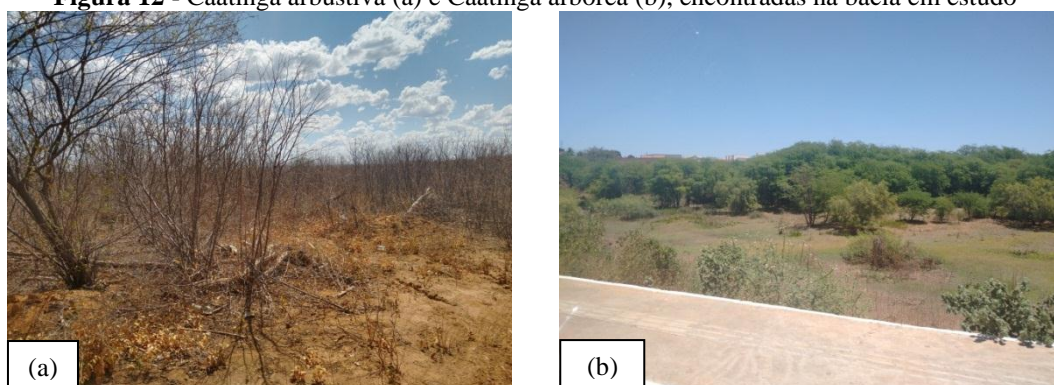
Na área em estudo a Caatinga está representada por uma vegetação de duas diferentes fisionomias: arbustiva e arbórea, conforme é mostrado na Figura 12. Cajuí (2018) completa que a fisionomia arbórea da Caatinga se desenvolve quando os solos têm melhores condições de fertilidade natural e as condições semiáridas são mais moderadas. Contudo, conforme as condições ambientais se tornam mais limitadas, a Caatinga assume um padrão fisionômico arbustivo.

A Caatinga arbórea apresenta taxas de crescimento maiores na estação chuvosa, porém o seu crescimento também pode ocorrer na estação seca, evidenciando o desenvolvimento de fotossíntese nos caules (ARAÚJO; CASTRO; ALBUQUERQUE, 2007). Esse tipo de Caatinga possui representantes da flora primitiva, mantendo uma vegetação de elevado porte, com evidência para a oiticica (*Licania rígida*) e juazeiro, entre outros. A presença da carnaubeira e do mandacaru também é comum.

Já a Caatinga arbustiva particulariza-se pela homogeneidade do estrato arbustivo, entremeadas por plantas espinhosas como bromeliáceas e cactáceas. Vale ressaltar que, a presença desse tipo de Caatinga geralmente se encontra dissociada da agricultura, situação determinada pelas condições pedológicas amplamente desfavoráveis (SEMAR, 2010).

Costa *et al.* (2012) acrescentam que a Caatinga arbustiva predomina nas áreas mais elevadas da região, sendo de porte baixo. Nas áreas mais baixas se encontra a Caatinga arbórea, de porte elevado, estando predominantemente nos vales fluviais. Nesse sentido, mudanças em escala local, a poucas dezenas de metros, na Caatinga encontrada na bacia em estudo são facilmente identificáveis e geralmente relacionadas a uma alteração ambiental claramente reconhecível. É o caso do menor porte de plantas sobre lajedos e solos rasos e do maior nos vales, em consequência da menor e maior disponibilidade hídrica (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005).

Figura 12 - Caatinga arbustiva (a) e Caatinga arbórea (b), encontradas na bacia em estudo



Fonte: Acervo pessoal.

Nesse sentido, pode-se dizer que a distribuição da Caatinga está relacionada principalmente com as ocorrências de secas. Isso porque a variabilidade temporal e espacial das chuvas influencia na variação dos ciclos de crescimento da vegetação. Mesmo assim, as espécies vegetais da Caatinga possuem algumas estratégias para superar as condições climáticas extremas, tais como a presença de órgãos para armazenamento de água e a manutenção do metabolismo das folhas com baixa disponibilidade de água (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012; ARAÚJO; CASTRO; ALBUQUERQUE, 2007).

É importante mencionar que, segundo o Ministério do Meio Ambiente (2015), a Caatinga é um dos biomas que mais enfrenta pressões antrópicas, estima-se que está 46% desmatada, apesar da sua importância biológica. Assim, a cobertura vegetal atual do bioma é caracterizada por um mosaico de diversos estágios de regeneração, onde os fragmentos originais de Caatinga são muito escassos, devido aos distintos tipos de solos e disponibilidade de água, aliada com as atividades agrícolas. Quanto maior a presença de intervenções no ambiente, como pastagens e áreas agrícolas, menor a quantidade, tamanho de plantas e diversidade florística (PEREIRA *et al.*, 2003; ARAÚJO; CASTRO; ALBUQUERQUE, 2007).

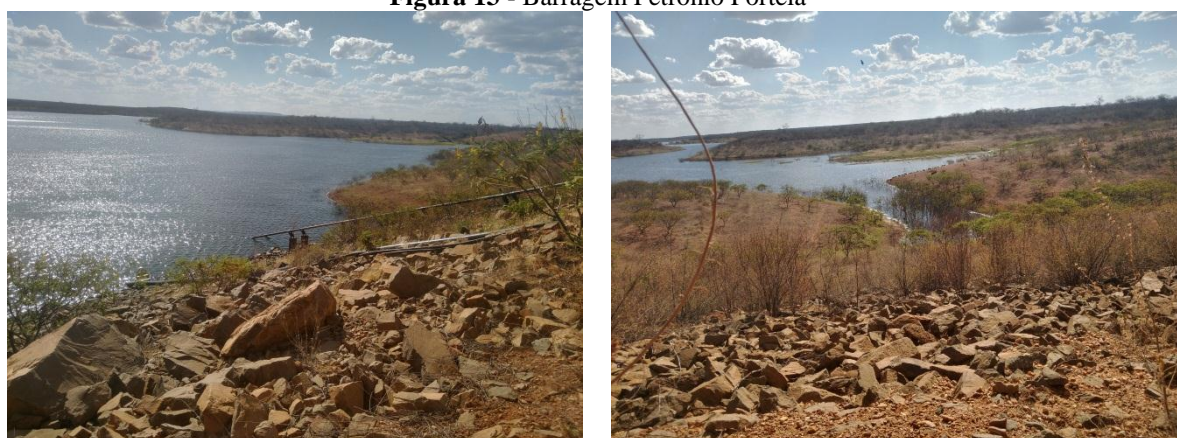
4.9. A Barragem Petrônio Portela

A barragem Petrônio Portela é uma obra de elevada relevância (Figura 13), com capacidade de armazenamento em torno de 181.250.000,00 m³, através do lago de 4.500 ha que se estende por toda a extensão de 14 km do rio Piauí. A sua construção teve início em outubro de 1984, através da assinatura do convênio no PGE 07/84, firmado entre o Governo do Estado e o DNOCS, porém somente no ano de 1996 ocorreu a conclusão da obra.

Conforme apontado por Brito *et al.* (2015) a barragem ainda não apresentou sangria nos 18 anos após sua inauguração, indicando um superdimensionamento da mesma. Isso, porque segundo os autores, devido à precariedade de informações hidrológicas no estado do Piauí, grande parte das barragens construídas foi dimensionada através de métodos de regionalização hidrológica, originando imprecisões na avaliação de sua capacidade de regularização, e por consequência, na disponibilidade hídrica dos trechos dos rios perenizados.

De acordo com a SEMAR (2018), a operação da barragem também é realizada pelo DNOCS, no entanto o seu funcionamento não possui a orientação de nenhum estudo prévio. A Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos ressalta que o reservatório não apresenta qualquer tipo de licenciamento ambiental. Considera-se a situação ainda mais preocupante, uma vez que, não existem ao menos processos, relacionados ao licenciamento, para serem analisados pelos auditores do estado, demonstrando a precariedade do Piauí no cumprimento dos instrumentos para uma efetiva gestão ambiental.

Figura 13 - Barragem Petrônio Portela



Fonte: Acervo pessoal.

Brito *et al.* (2015) acrescentam que o arranjo geral da barragem engloba um barramento principal, duas barragens adjuntas, projetadas nos pontos de fuga da bacia hidráulica, fixadas nas ombreiras esquerda e direita, um vertedouro e uma tomada d'água introduzida na ombreira esquerda.

Os principais objetivos da construção da barragem foram: o abastecimento humano, a dessedentação animal, irrigação, lazer e produção de pescado. Atualmente, segundo a ANA (2016b), aproximadamente 70% da demanda total de retirada é utilizada para abastecimento urbano, 15% é destinada para a dessedentação de animais, 14% para o abastecimento rural e 1% é consumida na irrigação.

A barragem está localizada no município de São Raimundo Nonato, situada na localidade Onça, zona rural da cidade. São abastecidos pela barragem os habitantes dos municípios de São Raimundo Nonato, Guaribas, São Braz do Piauí, Coronel José Dias, Caracol, Jurema, Bonfim do Piauí, Anísio de Abreu, São Lourenço do Piauí, Dirceu Arcoverde, Várzea Branca e Fartura do Piauí.

O sistema de abastecimento de água do reservatório Petrônio Portela é realizado pelo Sistema Adutor do Garrincho. De acordo com Macêdo (2016), o sistema utiliza a captação através de barco flutuante com bombas centrífugas de sucção, como é mostrado na Figura 14. A adutora percorre uma distância de aproximadamente 190 quilômetros, resultando no abastecimento de uma população, por volta, de 59.000 habitantes.

Figura 14 - Captação do Sistema Adutor Garrincho na barragem Petrônio Portela



Fonte: Acervo pessoal.

Um dos volumes mais baixos registrados na barragem foi no ano de 2017, no qual a situação foi considerada preocupante, já que o açude marcava somente 6,62% do seu volume total. Vale destacar que, segundo a ANA (2016b) a cota 290,8 m é considerada a cota mínima atual do leito da barragem. A Tabela 16 apresenta a ficha técnica da barragem Petrônio Portela.

Tabela 16 - Ficha Técnica da Barragem Petrônio Portela

DADOS GERAIS	
Código ANA	5725
Rio	Rio Piauí
Município / Estado	São Raimundo Nonato / PI
Latitude	09° 00' 10,95" S
Longitude	42° 25' 28,82" W
Operador	DNOCS
Proprietário	DNOCS
Ano Conclusão Construção	1996
DADOS OPERATIVOS	
Área de Drenagem Total (km²)	6472,83
Volume Máximo (hm³)	181,25
Volume Mínimo (hm³)	27,19
Volume Úti (hm³)	154,06
NA Máximo Operacional (m)	304,00
NA Mínimo Operacional (m)	290,77
Disposição de Medição de Nível / Volume do Reservatório	Não há. Porém existe a medição de um nível (feita pelo DNOCS) em um bloco de apoio dos dutos de comando das comportas da tomada d'água.
Dispositivo de Medição de Vazão Defluente	Não há.
DADOS ESTRUTURAIS	
Material Barragem Principal	Aterro zoneado
Extensão Barragem Principal	986,00
Altura Barragem Principal	35,60
Cota do Coroamento Barragem Principal	308,00
Tipo do Vertedor Principal	Soleira espessa. Perfil do vertedouro em concreto, com degraus.
Cota da Soleira Vertedor Principal	304,00
Tomada D'Água - Abastecimento Demandas	Bombas sobre flutuantes. Operante.
Tomada D'Água - Liberação para Jusante	Comportas; tubulações de 0,8 m de diâmetro; duas válvulas dispersoras de 0,8 m de diâmetro. Parcialmente operante. Apenas o acionamento manual da comporta é utilizado, pois não existe energia elétrica para acionamento automático.

Fonte: Adaptado ANA, 2016b.

4.10. Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica da barragem Petrônio

Portela

4.10.1. Demografia

Dentre os aspectos importantes da região que podem permitir uma avaliação social e econômica dos municípios que constituem a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela está a demografia. Na Tabela 17 encontram-se dados que tratam dos contingentes populacionais daqueles municípios para os anos de 2000 e 2010, de acordo com os censos demográficos. Obtiveram-se esses dados através da população residente de cada uma das cidades na data de referência, ou seja, dos moradores em domicílios.

É importante enfatizar que, mesmo que a região semiárida seja marcada historicamente pelo êxodo rural, dez entre os onze municípios apresentaram aumento populacional, ao longo dos anos avaliados. Os municípios de Anísio de Abreu, Caracol e São Raimundo Nonato, ao serem comparados com as outras cidades que integram a bacia, apresentaram maiores taxas de crescimento da população entre os anos 2000 e 2010, acima de 20%.

Tabela 17 - População total dos municípios que constituem a bacia em estudo – 2000, 2010

Município	População Total (hab)		Taxa de Crescimento (%)
	2000	2010	
Anísio de Abreu	7166	9098	26,96
Bonfim do Piauí	4881	5393	10,49
Caracol	8040	10212	27,01
Coronel José Dias	4415	4541	2,85
Dirceu Arcoverde	6066	6675	10,04
Fartura do Piauí	4685	5074	8,30
Jurema	4047	4517	11,61
São Braz do Piauí	4192	4313	2,88
São Lourenço do Piauí	4274	4427	3,58
São Raimundo Nonato	26890	32327	20,22
Várzea Branca	5203	4913	-5,57

Fonte: IBGE. Censos Demográficos de 2000 e 2010.

De acordo com os dados da população fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base no Censo de 2010, a população da bacia é de aproximadamente 64.877 habitantes, valor esse encontrado através da densidade demográfica

dos municípios e da área inserida na bacia de cada um, conforme é mostrado na Tabela 18. Nesse sentido, observa-se nesta tabela que a urbanização é considerada reduzida em grande parte dos municípios, ou seja, a população da maioria dos municípios possui uma parcela maior da população residindo na zona rural, com exceção de São Raimundo Nonato, o único que apresentou taxa maior que 50%.

Dessa forma, das onze cidades inseridas na bacia, dez apresentam população rural superior à população urbana, caracterizando a região como essencialmente rural. É preciso considerar também que somente a população do município de São Raimundo Nonato inseriu-se por volta de 35,33% da população total encontrada na bacia, demonstrando a relevância da cidade, tanto em extensão territorial como em quantidade populacional dentro da bacia em questão.

Tabela 18 - Dados populacionais dos municípios inseridos na bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela

Município	População Total (hab)		Densidade Demográfica (hab/km ²)
	Urbana	Rural	
Anísio de Abreu	4503	4595	26,91
Bonfim do Piauí	1635	3758	18,67
Caracol	4028	6184	6,33
Coronel José Dias	1491	3050	2,37
Dirceu Arcoverde	2369	4306	6,56
Fartura do Piauí	1336	3738	7,12
Jurema	866	3651	3,61
São Braz do Piauí	1021	3292	6,64
São Lourenço do Piauí	1113	3314	6,59
São Raimundo Nonato	21266	11061	13,40
Várzea Branca	1147	3766	10,92

Fonte: IBGE. Censo Demográfico de 2010.

Para uma caracterização geral dos onze municípios que compõe a bacia no que se refere ao comportamento demográfico, a Tabela 19 apresenta a síntese de algumas variáveis chaves, baseada no Censo demográfico de 2010, de maneira a completar as informações das tabelas anteriores, resumindo fatores essenciais que estão envolvidos diretamente no crescimento populacional.

De acordo com essa tabela, percebe-se que apenas nas cidades de Bonfim do Piauí e São Raimundo Nonato a quantidade total de homens é inferior a de mulheres. Para a taxa de fecundidade, todos os onze municípios mostram valores acima da média piauiense, que é de

2,0 filhos nascidos vivos, tidos por uma mulher ao final de seu período reprodutivo. São Raimundo Nonato foi o único dentre os onze municípios que obteve valor acima da média piauiense para a esperança de vida ao nascer, ou seja, a expectativa de vida da população, e valor abaixo da média piauiense para a taxa de mortalidade infantil.

Tabela 19 - Características gerais da população dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do barragem Petrónio Portela - 2010

Município	Razão de sexo	Taxa de fecundidade total	Esperança de vida ao nascer (anos)	Mortalidade infantil*	Razão de dependência**
Anísio de Abreu	104,17 homens para 100 mulheres	2,48	71,09	24,6	56,08
Bonfim do Piauí	99,74 homens para 100 mulheres	2,12	67,42	36,5	54,84
Caracol	103,83 homens para 100 mulheres	2,68	71,23	24,2	58,57
Coronel José Dias	109,94 homens para 100 mulheres	2,4	68,49	32,7	51,97
Dirceu Arcoverde	104 homens para 100 mulheres	2,44	68,06	34,2	53,7
Fartura do Piauí	102,96 homens para 100 mulheres	3,08	69,25	30,2	59,56
Jurema	108,83 homens para 100 mulheres	2,47	71,04	24,7	54,59
São Braz do Piauí	108,06 homens para 100 mulheres	2,07	71,23	24,2	54,81
São Lourenço do Piauí	104,86 homens para 100 mulheres	2,14	70,17	27,3	50,94
São Raimundo Nonato	96,76 homens para 100 mulheres	2,19	71,75	22,8	51,03
Várzea Branca	103,44 homens para 100 mulheres	2,67	69,57	29,2	59,93

* Óbitos de crianças até um ano de idade por mil nascidos vivos;

** Número de pessoas com 14 anos ou menos e de 65 anos ou mais de idade (população dependente) e o número de pessoas com idade de 15 a 64 anos (população potencialmente ativa) multiplicada por 100.

Fonte: IBGE. Censo Demográfico de 2010.

Para finalizar, quanto à razão de dependência, taxa essa que pressupõe o percentual de jovens e idosos de uma população que são dependentes economicamente dos demais,

apenas as cidades de São Lourenço e São Raimundo Nonato apresentaram taxas menores que a média do Estado do Piauí, equivalente a 51,7. Vale ressaltar que, em todas as onze cidades mais da metade da população é dependente economicamente da minoria, conforme é indicado através da razão de dependência, resultando em consideráveis encargos assistenciais para a sociedade.

4.10.2. Economia

Para que seja avaliado o crescimento econômico de uma determinada região é relevante que seja considerado o Produto Interno Bruto (PIB), ou seja, o somatório dos valores monetários de todos os serviços finais e bens produzidos, durante um período definido.

A Tabela 20 apresenta os dados do PIB dos municípios que compõe a bacia. Logo, percebe-se um intenso crescimento econômico municipal ao longo do intervalo de dez anos. Deve-se salientar que em todas as onze cidades o crescimento do PIB foi acima de 100%, sendo que o município de Anísio de Abreu foi o que apresentou o maior crescimento percentual, equivalente a 269,94%. A Tabela 20 também contém a composição do PIB por setor de atividade econômica, para o ano de 2017, demonstrando que o setor de serviços se sobressai em todos os municípios, quando comparado com o setor agropecuário e o industrial.

É preciso considerar que, analisando o percentual de receitas oriundas de fontes externas dos onze municípios, disponível no Portal IBGE Cidades (IBGE, 2020), a região, em sua totalidade, pode ser considerada bastante frágil economicamente, uma vez que seis desses municípios apresentaram esse percentual superior a 89%. No Portal não havia dados dos outros cinco municípios que são: Caracol, Coronel José Dias, Dirceu Arcoverde, Fartura do Piauí e São Braz do Piauí. Assim, a região mostrou um grau de dependência com relação aos repasses de recursos constitucionais e, isso demonstra uma baixa competência para geração de receitas próprias pelas prefeituras municipais.

Para que os impactos decorrentes do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela sejam analisados buscou-se uma contextualização histórica da região, onde foi levantado que a ocupação dessa área, por atividades econômicas, teve início pela atividade pecuária. A expansão da pecuária no semiárido nordestino esteve diretamente relacionada com o crescimento do negócio açucareiro introduzido na faixa litorânea do país. Dessa forma, os posseiros que ocuparam o Piauí primeiramente e que detinham a terra eram

obrigados a se agregarem aos proprietários, fixando suas pastagens de animais e cultivando agricultura de subsistência (SOUSA, s.d.).

Tabela 20 - Produto Interno Bruto – 2007 e 2017

Município	PIB (R\$1000)		Composição Setorial do PIB (%) - 2017			
	2007	2017	Agropecuária	Industria	Serviços	Outros
Anísio de Abreu	18044,32	66752,62	4,19	4,4	26,68	64,73
Bonfim do Piauí	11856,42	36670,11	6,56	3,06	22,54	67,84
Caracol	23450,54	69183,61	3,22	3,22	23,11	70,45
Coronel José Dias	10938,35	32212,08	10,07	4,02	19,49	66,42
Dirceu Arcoverde	14702,73	44229,98	8,84	3,09	20,2	67,87
Fartura do Piauí	10835,02	27875,05	11,43	2,1	14,84	71,63
Jurema	11744,34	35272,56	6,58	7,96	18,21	67,25
São Braz do Piauí	10340,57	27904,02	6,56	3,65	19,3	70,49
São Lourenço do Piauí	10481,92	29904,46	9,25	3,82	19,31	67,62
São Raimundo Nonato	118465,48	407774,27	2,93	6,21	46,94	43,92
Várzea Branca	9775,41	34734,45	9,51	3,24	18,59	68,66

Fonte: Ipeadata, 2017.

Nos dias atuais em relação à estrutura fundiária, o Censo Agropecuário de 2006 apontou que nos onze municípios analisados ocorre o predomínio de pequenos produtores, uma vez que o estabelecimento com até 50 hectares é o mais representativo, conforme é mostrado na Tabela 21.

Tabela 21 - Percentuais de estabelecimentos agropecuários

Município	até 50 ha	De 50 a 100 ha	De 100 a 500 ha	Mais de 500 ha
Anísio de Abreu	93,78	3,06	0,76	2,4
Bonfim do Piauí	93,62	3,32	0,85	2,21
Caracol	93,07	2,58	1,77	2,58
Coronel José Dias	78,57	10,47	9,73	1,23
Dirceu Arcoverde	63,73	11,63	8,46	16,18
Fartura do Piauí	83,57	9,68	5,24	1,51
Jurema	89,57	4,83	2,96	2,64
São Braz do Piauí	97,2	2,02	0,56	0,22
São Lourenço do Piauí	77,7	11,94	5,63	4,73
São Raimundo Nonato	87,44	5,73	2,2	4,63
Várzea Branca	88,18	8,03	3,25	0,54

Fonte: IBGE. Censo Agropecuário de 2006.

A Tabela 22 exibe o percentual dos estabelecimentos agropecuários segundo as formas de utilização das terras, a partir de dados do Censo Agropecuário de 2006. Por meio dos dados disponibilizados pelo IBGE, percebe-se que todos os municípios, à época da pesquisa, possuíam forte presença de lavouras, pastagens e de matas e/ou florestas. Contudo, como não foram encontrados dados do percentual da área de estabelecimentos agropecuários por utilização das terras para o Censo Agropecuário de 2016 não foi possível haver uma análise comparativa que permitisse a avaliação da evolução desses dados ao longo dos anos.

Tabela 22 - Percentuais das áreas de estabelecimentos agropecuários por utilização das terras

Município	Lavouras	Pastagens	Matas e/ou florestas	Sistemas agroflorestais	Terras inapropriáveis para agricultura familiar	Outras
Anísio de Abreu (PI)	54,54	14,88	16,49	9,21	4,02	0,86
Bonfim do Piauí (PI)	28,12	25,53	42,13	X	0,75	3,47
Caracol (PI)	21,79	17,65	57,01	1,22	1,76	0,57
Coronel José Dias (PI)	10,26	7,7	72,56	1,91	4,1	3,47
Dirceu Arcoverde (PI)	11,9	26,79	48,64	2,03	5,15	5,49
Fartura do Piauí (PI)	9,08	53,86	12,81	11,72	1,79	10,74
Jurema (PI)	18,41	15,18	60,11	1,06	3,91	1,33
São Braz do Piauí (PI)	35,56	4,0	59,67	0,33	0,04	0,4
São Lourenço do Piauí (PI)	7,88	37,92	53,31	0,55	0,08	0,26
São Raimundo Nonato (PI)	25,48	21,7	44,9	2,17	1,59	4,16
Várzea Branca (PI)	17,15	16,72	56,09	0,89	4,14	5,01

Fonte: IBGE. Censo Agropecuário de 2006.

Cajuí (2018) acrescenta que a criação de rebanhos e a existência de lavouras praticada há anos, sobre os delicados componentes geoambientais de um território, se desordenada, podem refletir nos processos de degradações atuais. Isso, porque tais atividades, no semiárido, proporcionam o desmatamento da vegetação natural da caatinga, resultando na perda da camada fértil do solo pelos processos erosivos do terreno. Dessa maneira, ocorre a contribuição para a diminuição da capacidade produtiva dos solos (econômica e biológica), disponibilidade das águas subterrâneas e superficiais através do assoreamento nos cursos d'água e descaracterização da flora e fauna nativa.

4.10.3. Saneamento básico

Para a avaliação dos dados de saneamento básico dos municípios inseridos na bacia em estudo, retratados na Tabela 23, baseou-se no percentual da população assistida em domicílios com abastecimento de água e esgoto inadequados. Os números mostraram uma situação de precariedade, já que em todas as cidades o índice piorou ao longo dos anos, ou seja, demonstraram um aumento da inadequação domiciliar, ou os dados estão indisponíveis.

Nesse sentido, constata-se que o município com a melhor condição no último censo foi Dirceu Arcoverde, no qual o percentual de domicílios que possuem serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário considerados impróprios era de 8,48%. Enquanto o município com o pior percentual foi São Braz do Piauí, com 50,55%.

Tabela 23 - Domicílios com serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados (%) – 2000 e 2010

Município	2000	2010	Variação entre os anos
Anísio de Abreu	18,04	20,97	2,93
Bonfim do Piauí	5,78	28,05	22,27
Caracol	20,54	25,11	4,57
Coronel José Dias	6,33	25,69	19,36
Dirceu Arcoverde	-	8,48	8,48
Fartura do Piauí	5,05	21,11	16,06
Jurema	9,85	29,54	19,69
São Braz do Piauí	34,37	50,55	16,18
São Lourenço do Piauí	9,06	22,94	13,88
São Raimundo Nonato	19,95	23,26	3,31
Várzea Branca	10,29	17,86	7,57

Fonte: IBGE. Censos Demográficos de 2000 e 2010.

Em relação ao recolhimento de resíduos sólidos a variante usada é o percentual de domicílios com serviços de coleta de lixo, considerando o Atlas do Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). A partir da análise dessa variável, observou-se que houve uma diminuição das residências sem serviço de coleta de lixo em todas as cidades, conforme é mostrado na Tabela 24, destacando-se o município de Várzea Branca com um percentual de 90,8%, para o ano de 2010.

Tabela 24 - Domicílios com serviços de coleta de lixo (%) – 2000 e 2010

Município	2000	2010	Variação entre os anos
Anísio de Abreu	33,52	71,72	38,2
Bonfim do Piauí	62,56	80,31	17,75
Caracol	39,24	70,9	31,66
Coronel José Dias	45,56	84,08	38,52
Dirceu Arcoverde	36,03	71,08	35,05
Fartura do Piauí	0	68,15	68,15
Jurema	0	57,56	57,56
São Braz do Piauí	0	78,54	78,54
São Lourenço do Piauí	12,07	77,96	65,89
São Raimundo Nonato	77,66	90,21	12,55
Várzea Branca	0	90,8	90,8

Fonte: IBGE. Censos Demográficos de 2000 e 2010.

4.10.4. Índice de Desenvolvimento Humano

Para um melhor entendimento das condições sociais e econômicas de uma determinada região deve-se considerar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Esse índice é de extrema relevância por mensurar por nível de desenvolvimento a partir de questões básicas como a renda, longevidade e educação, tornando-se uma referência, especialmente por nortear políticas públicas que auxiliem a desenvolver os aspectos ainda carentes de cada localidade.

Campos *et al.* (2016) afirmam que o IDH ajustado para a realidade específica dos municípios brasileiros, faz o uso de uma série de 180 indicadores, que acertado aos critérios de Renda, Longevidade e Educação resulta no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M). O IDH-M varia de 0 a 1, e quanto mais próximo o indicador estiver de 1, maior o desenvolvimento da localidade. O indicador municipal possui cinco faixas: De 0 a 0,499 – Muito baixo desenvolvimento; 0,500 a 0,599 – Baixo desenvolvimento; 0,600 a 0,699 – Médio desenvolvimento; 0,700 a 0,799 – Alto desenvolvimento; 0,800 a 1,000 – Muito alto desenvolvimento.

Por meio da Tabela 25 pode-se perceber que no ano de 2000 todos os onze municípios inseridos na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela estavam na posição de desenvolvimento muito baixo. Já no ano de 2010, São Raimundo Nonato subiu de patamar, atingindo um desenvolvimento médio, enquanto as cidades restantes atingiram um baixo desenvolvimento.

Em todos os municípios o componente longevidade foi aquele que obteve o melhor resultado, em ambos os censos. No ano de 2010, essas cidades alcançaram uma classificação de alto desenvolvimento, nesse componente. Já em termos de defasagem, a educação se destacou em todos os municípios ao apresentar os piores índices em ambos os censos. No ano de 2000 as onze cidades apresentaram uma classificação de muito baixo desenvolvimento para esse índice e, somente as cidades de Anísio de Abreu, São Braz do Piauí e São Raimundo Nonato subiram de patamar, no ano de 2010, alcançando um baixo desenvolvimento na educação.

É importante destacar que tanto no Censo de 2000 como no de 2010 o IDH-M da cidade de São Raimundo Nonato foi o único dentre os municípios analisados que apresentou índice superior ao estado do Piauí. Contudo, todos os onze municípios e o estado do Piauí apresentaram índices menores que os do Brasil, para ambos os censos.

Tabela 25 - Evolução do IDH-M dos onze municípios que compõe a bacia em estudo – 2000 e 2010

Município	IDH Municipal e seus componentes							
	2000				2010			
	IDH-M	Renda	Longevidade	Educação	IDH-M	Renda	Longevidade	Educação
Anísio de Abreu	0,425	0,49	0,673	0,233	0,594	0,534	0,768	0,512
Bonfim do Piauí	0,402	0,487	0,665	0,201	0,542	0,542	0,707	0,415
Caracol	0,385	0,451	0,651	0,194	0,552	0,533	0,771	0,409
Coronel José Dias	0,386	0,45	0,595	0,215	0,546	0,518	0,725	0,433
Dirceu Arcoverde	0,407	0,488	0,654	0,212	0,561	0,563	0,718	0,436
Fartura do Piauí	0,37	0,475	0,637	0,168	0,548	0,506	0,738	0,441
Jurema	0,348	0,426	0,636	0,155	0,555	0,511	0,767	0,435
São Braz do Piauí	0,35	0,445	0,63	0,153	0,596	0,533	0,771	0,514
São Lourenço do Piauí	0,399	0,439	0,63	0,23	0,595	0,56	0,753	0,499
São Raimundo Nonato	0,497	0,541	0,706	0,322	0,661	0,631	0,779	0,587
Várzea Branca	0,318	0,401	0,604	0,133	0,553	0,518	0,743	0,44
Piauí	0,484	0,556	0,676	0,301	0,646	0,635	0,777	0,547
Brasil	0,612	0,692	0,727	0,456	0,727	0,739	0,816	0,637

Fonte: IBGE. Censos Demográficos de 2000 e 2010.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Estimativa da erosão bruta

Utilizou-se a RUSLE para estimar o potencial de perda de solo, ou seja, erosão bruta na bacia, para isso foi levado em consideração as características fisiográficas participantes na equação, nas quais estão:

5.1.1. Erosividade das chuvas (R)

Para a obtenção da erosividade das chuvas considerou-se quatro estações pluviométricas (Figura 15). Vale ressaltar que as estações que foram anteriormente utilizadas para o cálculo da precipitação média, as quais possuem série histórica de dados de precipitação equivalentes a 31 anos, não eram apropriadas para o cálculo da erosividade nessa pesquisa, uma vez que seus registros foram finalizados no ano de 1994. Dessa maneira, foram escolhidas as estações pluviométricas Baluarte, Campo Alegre de Lourdes, Remanso e São Raimundo Nonato, apresentando 14 anos de dados de precipitação (2005-2018), período esse considerado mais próximo da atualidade da produção dessa pesquisa. A Tabela 26 apresenta a ficha técnica dos postos utilizados para o cálculo da erosividade das chuvas.

Tabela 26 - Ficha técnica dos postos pluviométricos utilizados para o cálculo da erosividade das chuvas

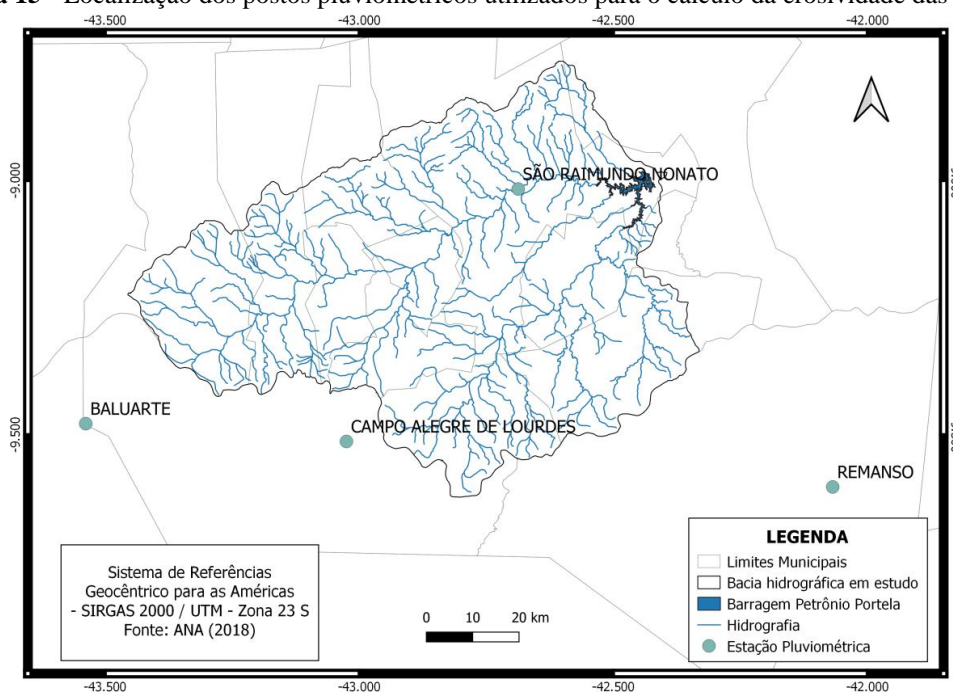
Nome da Estação	Código	Órgão Responsável	Município	Data da instalação	Latitude (S)	Longitude (W)
Baluarte	943013	ANA	Campo Alegre de Lourdes(BA)	2004	-9,48	-43,54
Campo Alegre de Lourdes	943014	ANA	Campo Alegre de Lourdes(BA)	2004	-9,51	-43,03
Remanso	942027	ANA	Remanso (BA)	2002	-9,6	-42,07
São Raimundo Nonato	942028	ANA	São Raimundo Nonato (PI)	2004	-9,02	-42,69

Fonte: Adaptado de Hidroweb – ANA.

A precipitação média anual alcançada através dos dados pluviométricos obtidos das estações utilizadas (período 2005-2018) na obtenção da erosividade da chuva é de 552,5 mm, com desvio padrão de 193,5 e coeficiente de variação médio de, aproximadamente, 35%, conforme é mostrado na Tabela 27.

A precipitação média anual calculada para esse período é somente 16,49% menor que a média climatológica de longo período (1964-1994) calculada por meio das estações pluviométricas de Açude Caracol, Campestre e São Raimundo Nonato (661,6 mm), expressando que a precipitação do intervalo estudado apresentou comportamento equivalente ao da média histórica. Pode-se observar comportamentos semelhantes entre as séries de precipitação estudadas, uma vez que em ambas o mês de março apresentou o maior acúmulo de precipitação durante o período chuvoso, além de que o acúmulo das chuvas durante os meses de novembro a abril representa aproximadamente 93% das chuvas anualmente. Desse modo, a série de 14 anos é considerada representativa para ser utilizada como suporte para a estimativa da erosividade das chuvas na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela.

Figura 15 - Localização dos postos pluviométricos utilizados para o cálculo da erosividade das chuvas



Fonte: Elaboração própria.

O ano que apresentou a menor pluviosidade foi 2012, acumulando somente 167,57 mm, já o de maior pluviosidade foi o ano de 2009, no qual foi totalizado um acúmulo de chuvas de 903,386 mm.

Vale ressaltar que as precipitações médias anuais calculadas para as estações Remanso, Campo Alegre de Lourdes, Baluarte e São Raimundo Nonato, foram de, respectivamente, 486,08 mm, 543,72 mm, 680,98 mm, 543,65 mm. Nesse sentido, percebe-se um aumento pluviométrico no sentido noroeste, ou seja, de leste a oeste e de sul a norte. Esse

fenômeno pode ser atribuído ao ZCIT em seu movimento no hemisfério Sul, ocorrendo as maiores precipitações nas regiões de menores latitudes.

Tabela 27 - Precipitações médias mensais e anuais (mm) calculadas através das Estações Baluarte, Campo Alegre de Lourdes, Remanso e São Raimundo Nonato

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
2005	125,9	161,8	154,3	51,9	22,1	4,3	0,0	0,0	0,7	0,0	67,5	49,6	638,1
2006	1,2	132,5	102,7	58,8	9,1	0,0	0,0	0,0	0,0	79,1	66,3	43,3	493,0
2007	7,9	153,2	3,4	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,6	61,8	290,3
2008	38,0	53,6	223,8	107,3	6,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	106,5	39,9	576,1
2009	172,1	137,8	152,5	180,5	14,6	3,2	0,0	0,0	0,0	73,0	2,4	167,2	903,4
2010	76,0	21,7	141,0	139,3	17,3	18,5	0,1	0,0	0,0	36,0	16,2	184,5	650,6
2011	77,8	243,9	157,4	106,4	4,5	0,0	0,0	1,0	0,0	50,3	26,8	50,2	718,3
2012	18,7	32,7	22,9	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,4	22,7	167,6
2013	113,1	0,0	60,9	71,2	10,2	0,1	0,4	0,0	0,0	21,9	37,5	226,9	542,2
2014	8,2	69,5	169,3	76,6	3,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	189,4	153,6	670,0
2015	14,4	100,7	89,3	82,8	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	58,2	4,3	360,8
2016	270,7	12,9	14,4	2,3	0,2	0,0	0,0	0,0	5,7	42,0	78,0	64,5	490,7
2017	16,8	147,6	80,0	24,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	125,8	80,5	484,3
2018	97,4	157,9	207,8	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	59,0	85,2	113,7	750,0
Prec. Média	74,2	101,8	112,8	67,7	7,1	1,9	0,0	0,1	0,6	26,5	69,6	90,2	552,5
Desvio Padrão	77,6	71,6	70,6	52,9	7,0	5,0	0,1	0,3	1,5	29,6	48,2	67,7	193,5
Coef. Variação (%)	104,7	70,3	62,6	78,1	98,7	266,4	321,5	374,2	241,4	111,6	69,3	75,0	35,0

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 28 apresenta os valores de erosividades mensais e anuais para a bacia em estudo. Dessa maneira, percebe-se uma variação pequena (25,7%) entre os valores de erosividades anuais encontrados para o período observado. O ano de 2012 foi o que apresentou menor valor de erosividade anual e 2011 o maior, com 2795,6 e 8948,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Nos 14 anos avaliados, 14,29% do tempo apresentou erosividade baixa, 57,14% erosividade média e 14,29% erosividade alta.

Apesar de parecer evidente, não há necessariamente uma relação monotônica entre o total pluviométrico e a erosividade. Isso pode ser observado entre os anos 2009 e 2011, cuja as precipitações são de 903,4 e 718,3 mm e os valores de erosividade são de 7897,5 e 8948,6 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. As variações de erosividade podem ser esclarecidas através da análise das chuvas mensais, principalmente entre fevereiro, março e abril.

Tabela 28 - Erosividades médias mensais e anuais ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) calculadas através das Estações Baluarte, Campo Alegre de Lourdes, Remanso e São Raimundo Nonato

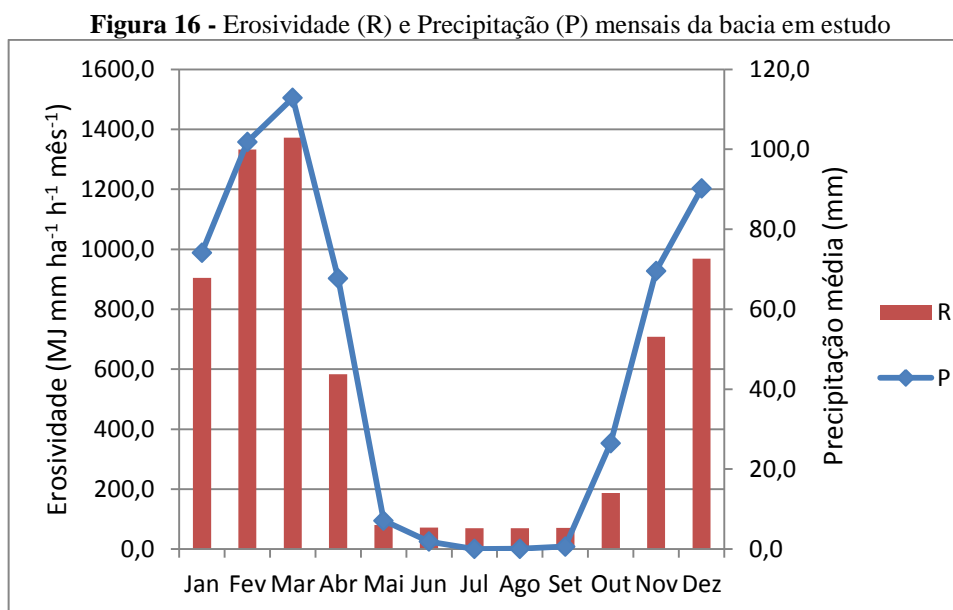
Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
2005	1136,4	1843,6	1750,8	256,9	127,2	73,0	69,8	69,8	70,1	69,8	373,2	269,2	6109,7
2006	70,7	1625,3	1199,7	376,9	77,7	69,8	69,8	69,8	69,8	703,4	573,2	289,8	5195,7
2007	87,0	3520,2	72,1	145,8	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8	567,6	660,6	5472,0
2008	191,0	334,6	3927,3	1142,1	73,4	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8	1008,8	273,8	7299,9
2009	1518,8	969,2	1362,3	1805,6	87,2	71,0	69,8	69,8	69,8	398,4	73,0	1402,6	7897,5
2010	484,5	138,2	1392,6	1341,6	99,3	99,8	69,8	69,8	69,8	168,6	93,7	2363,3	6391,0
2011	446,4	4413,7	2355,7	794,0	71,5	69,8	69,8	69,9	69,8	220,2	142,8	225,2	8948,6
2012	178,2	373,3	218,2	69,8	70,6	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8	1312,6	224,1	2795,6
2013	1088,2	69,8	409,1	502,4	89,7	69,8	69,8	69,8	69,8	118,2	198,5	4112,8	6867,8
2014	76,8	390,9	1952,7	506,9	71,4	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8	2429,7	1607,1	7384,2
2015	98,7	1282,2	1054,4	890,7	70,2	69,8	69,8	69,8	69,8	85,2	473,4	78,3	4312,2
2016	6410,3	94,1	97,1	71,5	69,8	69,8	69,8	69,8	74,6	234,5	716,7	480,6	8458,6
2017	130,2	2032,4	842,7	144,4	84,0	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8	1465,7	734,7	5782,9
2018	738,8	1568,2	2568,5	118,0	69,8	69,8	69,8	69,8	70,6	276,8	487,0	837,8	6944,7
Erodibilidade Média	904,0	1332,5	1371,7	583,3	80,8	72,2	69,8	69,8	70,2	187,4	708,3	968,6	6418,6
Desv. Padrão	1653,1	1320,4	1088,2	541,2	16,3	8,0	0,0	0,0	1,3	179,9	656,8	1115,1	1650,0
Coef. Variação (%)	182,9	99,1	79,3	92,8	20,1	11,0	0,0	0,0	1,8	96,0	92,7	115,1	25,7

Fonte: Elaboração própria.

Além da classificação anual da erosividade da bacia, a classificação mensal dos dados é significativa. Por meio da Tabela anterior, percebe-se que os valores mensais de erosividade para a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela são bastante variados. As médias mensais dos meses de junho a outubro são classificadas como muito baixas, tendo sido os piores registros nos meses de julho e agosto, com $69,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ em ambos. Destaca-se que este valor é resultado das baixas precipitações ocorridas durante esses meses. Rabelo (2018) acrescenta que as poucas chuvas ocorridas no sertão durante esses meses, são indicativos da condição atmosférica que atua na região, conhecida como ondas de leste.

Conforme é mostrado na Figura 16, nos meses de fevereiro e março a erosividade tem valores elevados, sendo classificada como muito alta em um e outro. O maior valor de erosividade obtido para o mês de fevereiro foi de $1616,67 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, para o posto de Campo Alegre de Lourdes. Já em março o maior valor foi de $1692,055 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, para o posto de Baluarte. Nos meses de janeiro e dezembro a erosividade das chuvas é classificada como alta, já os meses abril e novembro são tidos como medianos.

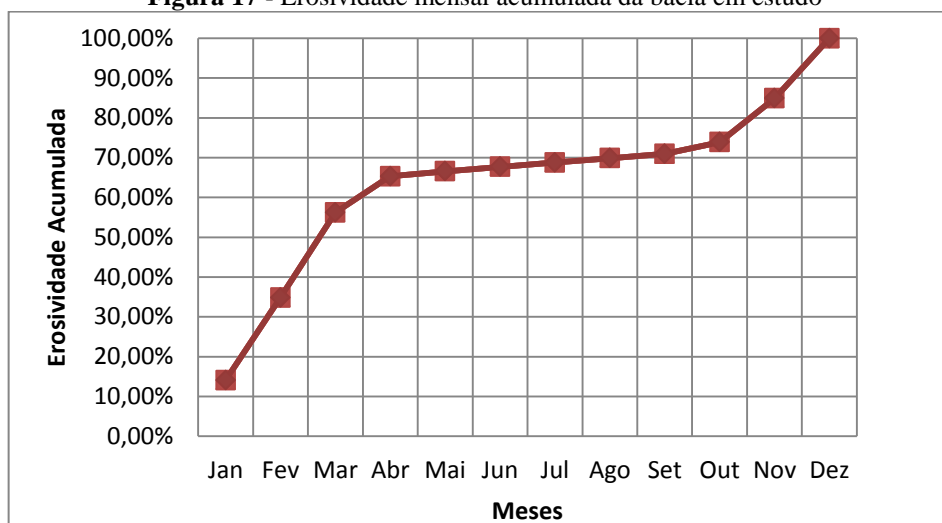
Vale destacar que as erosividades altas observadas são condicionadas pela ZCIT, que segundo Rabelo (2018), atua mais especificamente no mês de março, atrelada com picos de chuvas torrenciais, intensificando assim meses de alto potencial erosivo. Percebe-se então que o regime de chuvas nessa região é condicionado, principalmente pela dinâmica atmosférica e deslocamento da ZCIT, resultando na ocorrência de perdas de solo através da erosão.



Fonte: Elaboração própria.

A distribuição da erosividade média mensal acumulada (distribuição relativa do índice de erosividade), sob a forma da curva apresentada na Figura 17, aponta qual a época do ano na qual ocorre a maior potencialidade das chuvas em causar erosão. Gil (2017) complementa que nesse tipo de gráfico quanto maior a inclinação da curva em determinado período, maior será a ameaça de erosão do solo, precisando, dessa forma, de maiores cuidados de proteção. Na bacia em estudo, os meses de maior erosividade, que são novembro a abril, correspondem com o segmento da curva de maior inclinação, mostrando a necessidade de proteção do solo nesse período.

Nesse contexto, foi constatado que quase 70% da erosividade média anual ocorre entre janeiro e abril, como é mostrado na curva de distribuição da Figura 17. Desse modo, os riscos de ocorrer erosão no solo são maiores nesses meses, já que o total de suas chuvas erosivas são as responsáveis pela maioria dos índices médios mensais de maior valor que totalizam 4191,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, correspondendo a 65,30% do total médio anual.

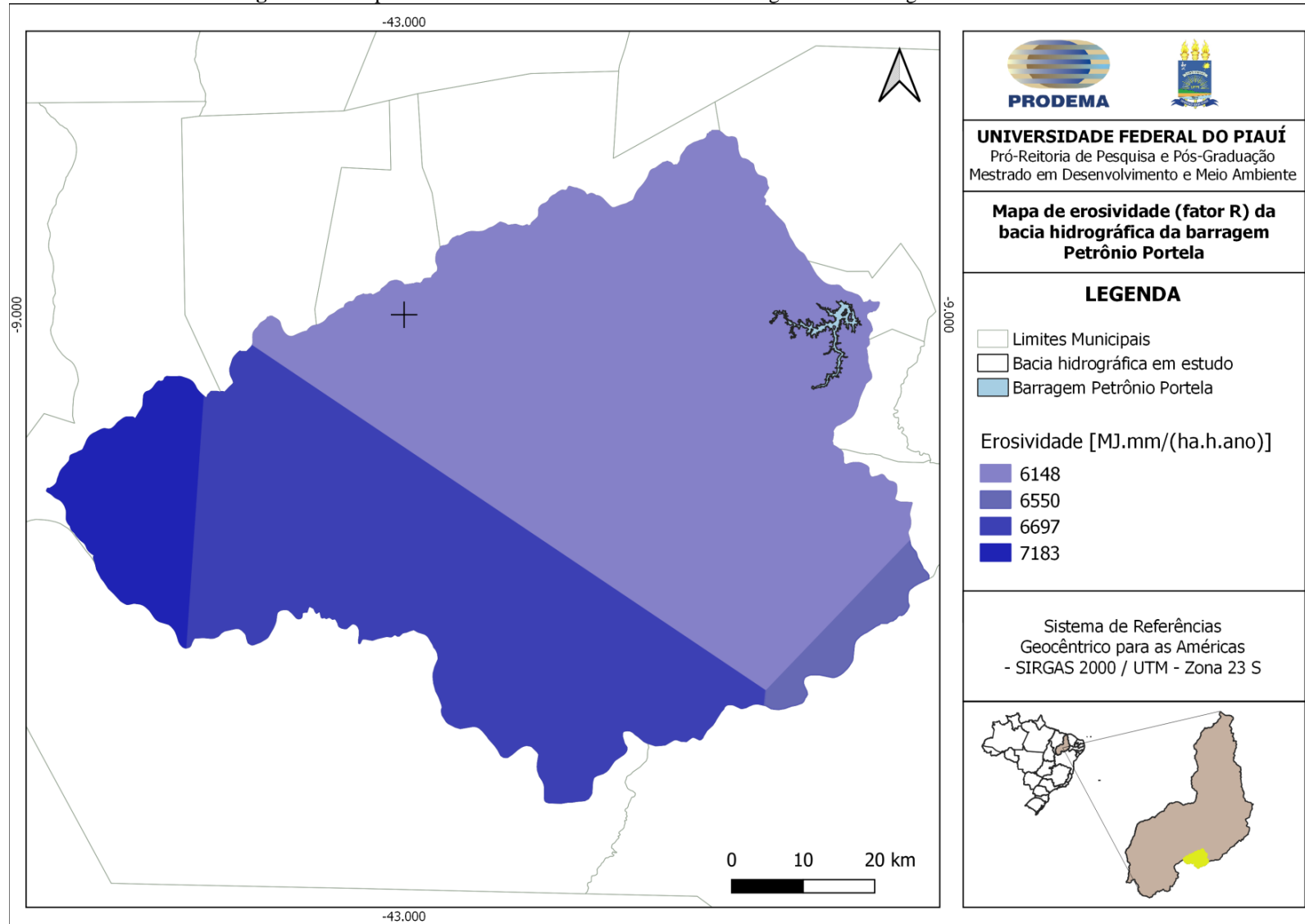
Figura 17 - Erosividade mensal acumulada da bacia em estudo

Fonte: Elaboração própria.

Vale ressaltar que a erosividade média anual para a bacia no período de 2005 a 2018 foi de $6418,6 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo classificada como média. No mapa da Figura 18 pode ser verificado que a erosividade não tem muita variação ao longo da bacia.

Valores de erosividade média anual foram obtidos por outros pesquisadores em regiões semelhantes, resultando em valores próximos ao encontrado nessa pesquisa, tais como Dias e Silva (2003) que encontraram $6774 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em Fortaleza (CE) e Araújo (2012) que encontrou $5470,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em Aiuaba (CE).

Figura 18 - Mapa de erosividade média anual da bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela



Fonte: Elaboração própria.

5.1.2. Erodibilidade dos solos (K)

A Figura 20 apresenta o mapa de erodibilidade para a área em estudo, com os valores do fator K atribuídos conforme indicado por Aquino e Oliveira (2017). Verifica-se na Tabela 29 que a erodibilidade da bacia está entre 0,019 e 0,042 e que 51,16% dos seus solos possuem classificação de erodibilidade alta, enquanto os 48,84% restantes são classificados como médio potencial erosivo. Desse modo, de maneira geral, os solos presentes na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela apresentam alto potencial erosivo, com uma erodibilidade média equivalente a 0,033 ton.h/MJmm.

Observa-se que os solos com os maiores valores de erodibilidade são os Argissolos Vermelho-Amarelos, os quais recobrem uma área aproximada de 2275,09 km², com índice de erodibilidade classificado como alto ($K_{\text{médio}} = 0,0382$ ton.h/MJmm), como é exemplificado na Figura 19. Os Latossolos Amarelos, os Neossolos Litólicos e os Neossolos Regolíticos presentes na área também apresentam um índice de erosividade classificado como alto, com $K_{\text{médio}}$ iguais 0,031, 0,0305, 0,033 ton.h/MJmm, respectivamente.

O menor valor do fator K, com classificação de média erodibilidade corresponde aos Latossolos Vermelho-Amarelos ($K = 0,019$ ton.h/MJmm), porém estes somente estão presentes em 1,14% da bacia em estudo, equivalendo a 73,57 km².

Tabela 29 - Tipos de solos encontrados na bacia em estudo e seus correspondentes valores de erodibilidade

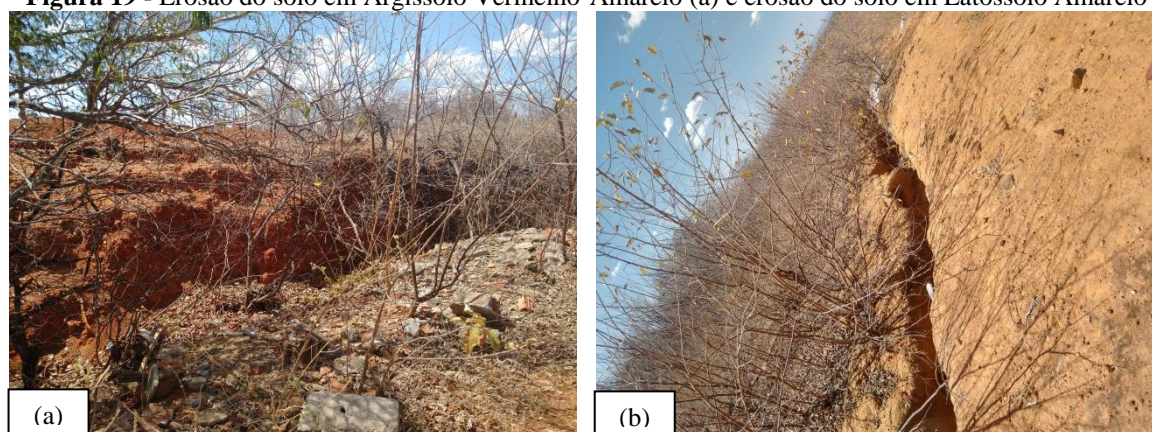
Classe de solo predominante	Associações	Fator K (ton.h/MJmm)	Classificação da erodibilidade
LATOSSOLOS AMARELOS	LA21*	0,0310	Alto
	LA22*	0,0380	Alto
	LA33*	0,0270	Médio
	LA37*	0,0310	Alto
LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS	LV2*	0,0190	Médio
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS	PE18*	0,0320	Alto
	PE23*	0,0420	Alto
	PE24*	0,0420	Alto
	PE25*	0,0360	Alto
	PE26*	0,0370	Alto

	PV18*	0,0400	Alto
	R10 *	0,0240	Médio
	R18 *	0,0280	Médio
	R19 *	0,0310	Alto
NEOSSOLOS LITÓLICOS	R20 *	0,0240	Médio
	R26 *	0,0360	Alto
	R27 *	0,0360	Alto
	R28 *	0,0350	Alto
NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	RE *	0,0330	Alto

Fonte: Aquino e Oliveira, 2017.

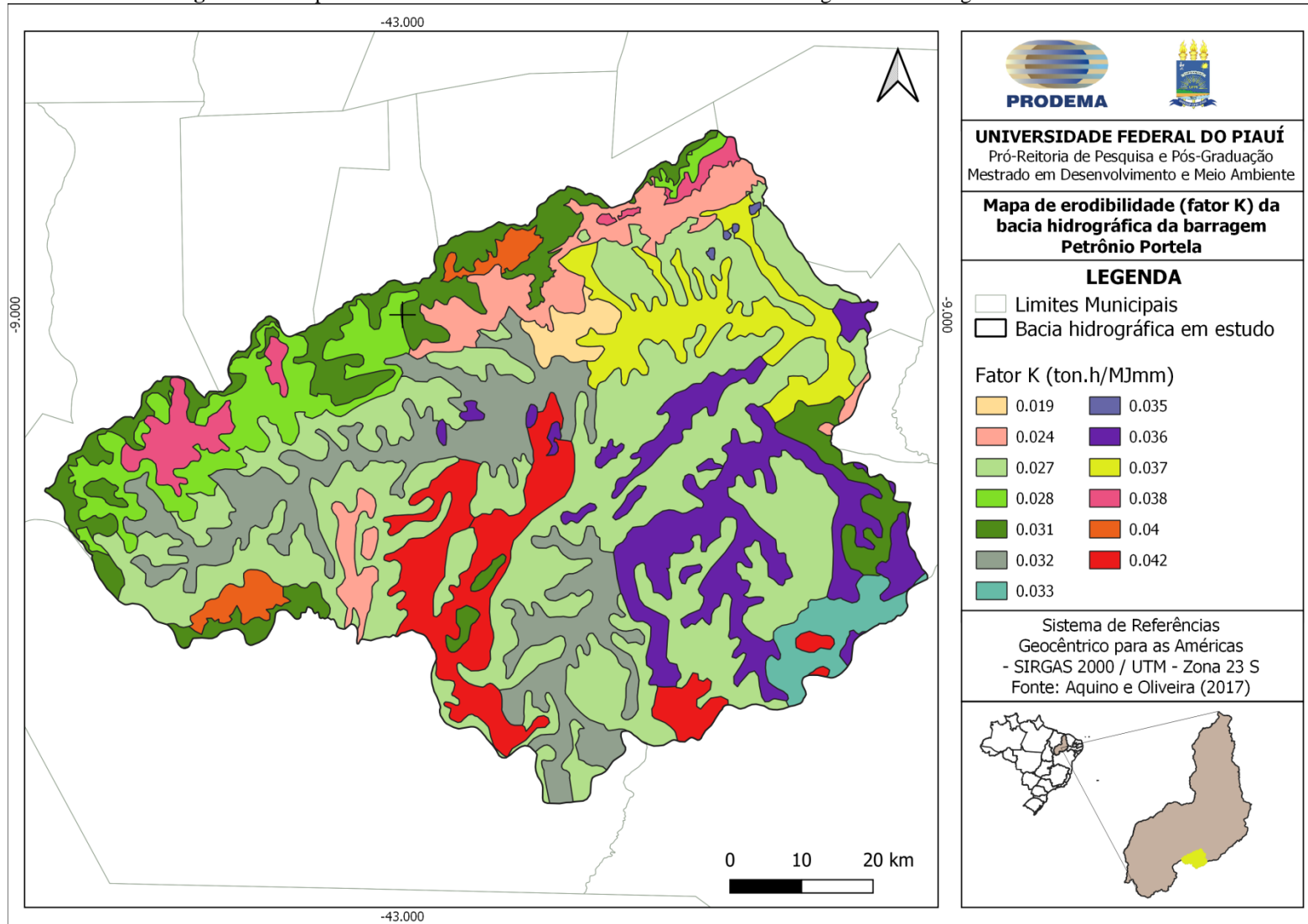
Vale ressaltar que por os valores de K encontrados, para a bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, estarem situados nas classes alta e média isso exige atenção quanto as formas de uso empreendidas nessa região, principalmente por esta se inserir no semiárido, com vegetação caatinga e práticas rudimentares de uso da terra, o que pode resultar na aceleração da erosão hídrica dos solos (AQUINO; OLIVEIRA, 2017). A Figura 19 apresenta a exemplificação da ocorrência de erosão de solo na área em estudo, em regiões de diferentes classes de solo.

Figura 19 - Erosão do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo (a) e erosão do solo em Latossolo Amarelo



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 20 - Mapa de erodibilidade dos solos encontrados na bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela



Fonte: Elaboração própria.

5.1.3. Fator topográfico (LS)

Na avaliação do potencial de erosão quanto maior a declividade e o seu trecho percorrido, maior será a energia criada que se acumula, resultando em uma maior ocorrência de erosão (BUENO; ARRAES; MIQUELONI, 2011). Coutinho *et al.* (2014) acrescentam que a análise do fator topográfico em grandes áreas é dificultada na literatura, exigindo uma atenção especial na escolha da equação utilizada e procedimentos de adequação das mesmas ao ambiente de SIG.

Como já visto, de acordo com as faixas de declividade encontradas na bacia encontra-se relevo plano, suave ondulado, ondulado, fortemente ondulado, montanhoso e escarpado. A declividade média ponderada encontrada na bacia é equivalente a 6,24%. Assim, o seu relevo, conforme mostrado na Tabela 30, pode ser considerado, em sua maioria, do tipo suave ondulado, devido à predominância dessa classe, 51,33%, seguido do tipo plano, com 24,52%, enquanto as áreas escarpadas são as que possuem menor representatividade na bacia, com apenas 0,06%.

Dessa maneira, o relevo da bacia é, de forma geral, de topografia pouco acidentada e colinas, além da existência de declives pequenos. Com base na frequência acumulada, as áreas de menor declividade (0 – 20), representam a maioria, somando 95,83%, enquanto as mais íngremes (> 20) representam somente 4,17%.

Tabela 30 - Faixas de declividades da bacia em estudo

Classificação	Classe (%)	Área (km²)	Área (%)	Acumulado (%)
Plano	0 - 3	1586,91	24,52%	24,52%
Suave Ondulado	3 - 8	3322,384	51,33%	75,84%
Ondulado	8 – 20	1293,81	19,99%	95,83%
Forte Ondulado	20 – 45	243,44	3,76%	99,59%
Montanhoso	45 – 75	22,64	0,35%	99,94%
Escarpado	> 75	3,65	0,06%	100,00%

Fonte: Elaboração própria.

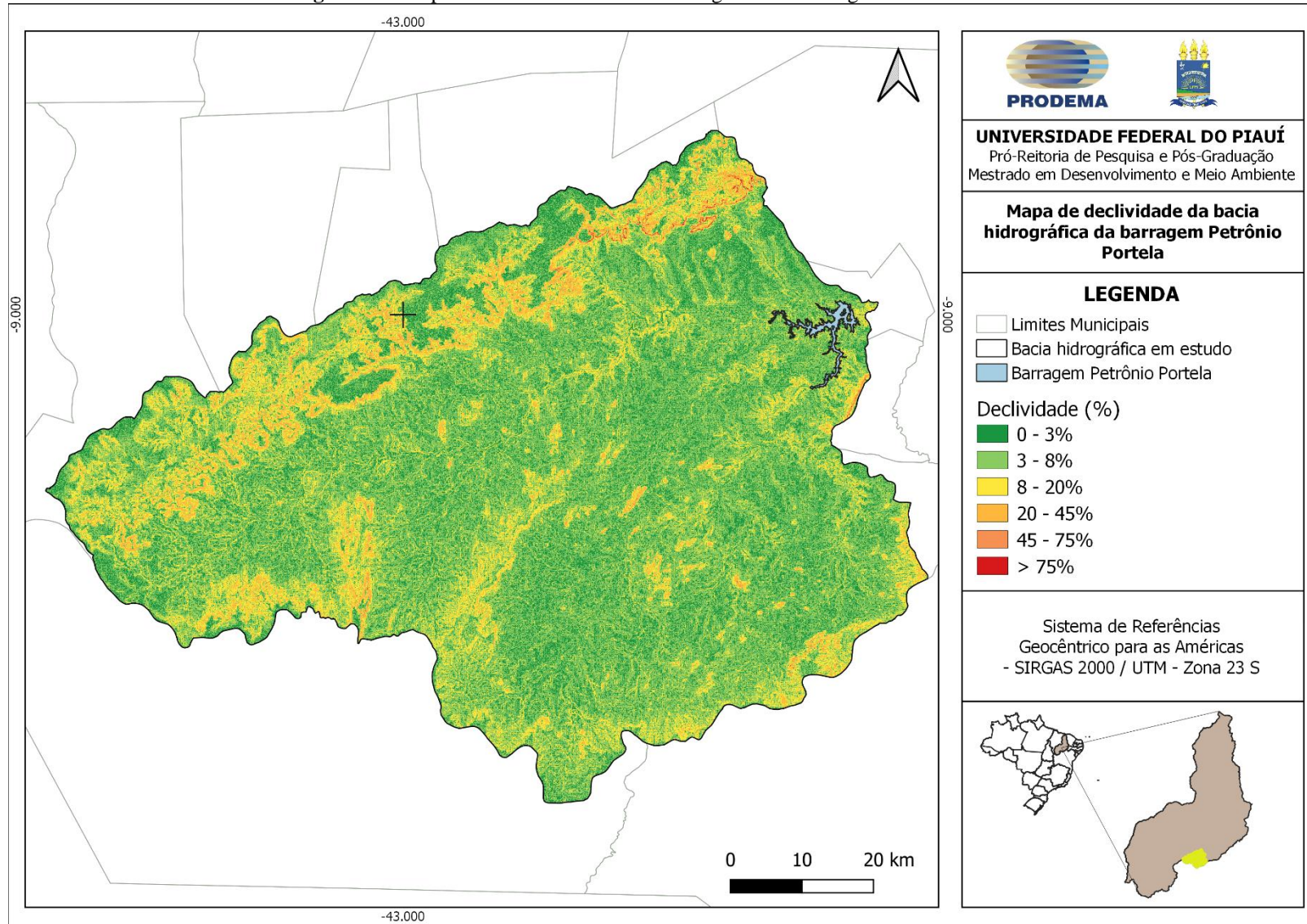
Encontra-se o mapa de declividade na Figura 21. De acordo com Tornello *et al.* (2006), o conhecimento acerca da declividade de uma bacia hidrográfica é importante para o cumprimento da legislação e o planejamento dessa região, uma vez que tornam as maneiras de intervenções humanas mais eficientes. Coutinho *et al.* (2014) complementam que em áreas de maior declive, a velocidade de escoamento geralmente é maior, isso provoca a diminuição de água armazenada no solo, resultando na degradação por erosão do solo na bacia.

Os valores de comprimento de rampa foram obtidos por meio da Equação 9, através da subdivisão da bacia de drenagem da barragem Petrônio Portela em 6 microbacias de contribuição hídrica. Vale ressaltar que, quanto maior a rede de drenagem em uma microbacia, menor é o seu comprimento de rampa. Desse modo, encontrou-se o valor médio de 684 metros de comprimento de rampa para a bacia ao todo.

Com os valores de declividade e comprimento de rampa foi calculado o fator topográfico (LS), baseado na Equação 8. A distribuição espacial do fator topográfico na bacia pode ser observada na Figura 22. Conforme indicado por Coutinho *et al.* (2014), a interpretação visual de mapas de declividade e fator topográfico em uma região permitem que seja verificada a estreita relação existente entre a declividade e o fator LS. Isso porque os menores valores de LS são proporcionais às menores declividades e os maiores valores do fator topográfico são encontrados nas maiores declividades, como é mostrado nos mapas a seguir.

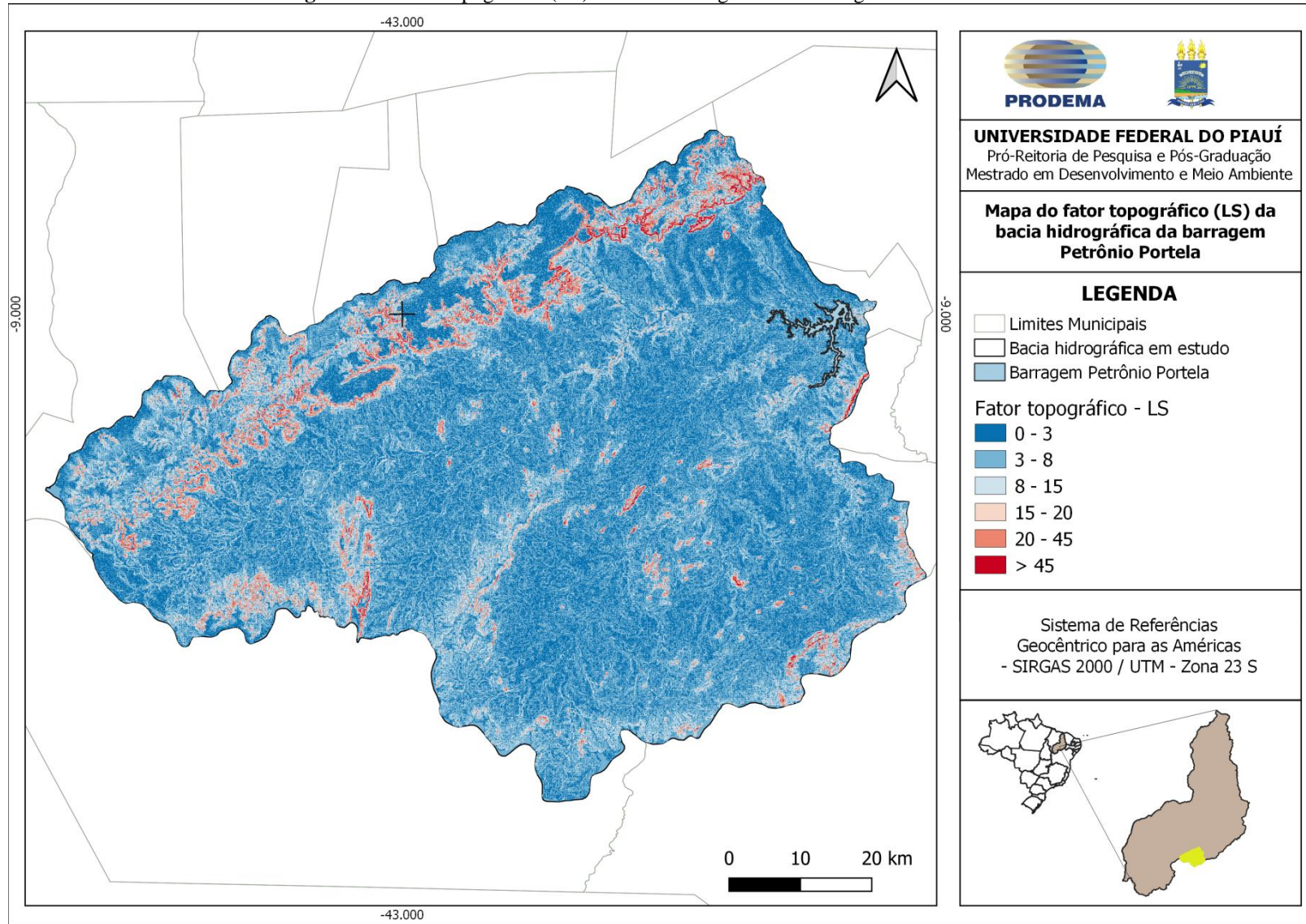
Verifica-se que a maior ocorrência de LS é da classe 3 – 8, permitindo uma média ponderada desse fator na bacia igual a 5,65, já as menores ocorrências são das classes 20 – 45 e > 45, sendo identificados distantes dos divisores topográficos, nas declividades acentuadas. Tais características colaboram para menores taxas de escoamento superficial, resultando no desfavorecimento da erosão laminar na região.

Figura 21 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela



Fonte: Elaboração própria.

Figura 22 - Fator topográfico (LS) da bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela



Fonte: Elaboração própria.

5.1.4. Fator de uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (CP)

As principais tipologias de uso e cobertura da terra identificadas na área de estudo, foram sete: caatinga arbórea, caatinga arbustiva, formação campestre, agropecuária, área artificial, solo exposto e corpos hídricos. É válido ressaltar que preferiu-se a união das classes agricultura e pastagem por essas atividades, de forma recorrente, serem desenvolvidas simultaneamente em uma mesma área.

O uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela apresenta-se não muito diversificado, estando relacionado com as formas de exploração dos recursos naturais e das atividades praticadas, como a agricultura e a pecuária. O sistema agropecuário desenvolvido na bacia demonstra aspectos tradicionais relativos a atividades familiares, ou seja, há o predomínio de pequenos produtores.

Na Tabela 31 encontram-se representadas as extensões, em km² e porcentagem, abrangidas pelas sete classes mapeadas, para os anos de 2005 a 2018. A quantificação das sete classes para os anos escolhidos permite a compreensão do processo de evolução das mesmas, exibindo informações inerentes às ações naturais e antrópicas operantes nessa região. Desse modo, percebeu-se que a bacia em estudo, nos últimos anos analisados (2005 a 2018), não demonstrou alterações aceleradas no uso e cobertura vegetal.

Observou-se, então, que a vegetação nativa, composta pela caatinga arbórea, caatinga arbustiva e formação campestre, nos anos observados, é a diversidade mais representativa na bacia, ocupando cerca de 75% da área total em todos os anos avaliados. A agropecuária é a segunda tipologia mais representativa na área de estudo, sendo seguida pela classe corpos hídricos, que em todos os anos quantificados apresentou ser a terceira de maior extensão.

Em todas as classes foram observadas mudanças, com destaque para “Formação Campestre”, “Área Artificial” e “Solo exposto”, que apresentaram os maiores percentuais em redução ou aumento da área. De acordo com Oliveira *et al.* (2015), a variação da classe “Solo exposto” pode ser explicada pela forte alternância entre regenerações naturais de pastagens degradadas, que causam a redução dos solos expostos, e reinicialização da atividade pastoril, provocando um aumento na extensão dos solos expostos. Já a tipologia “área artificial”, que representa as zonas urbanas dos municípios integrantes da bacia, no decorrer dos 14 anos avaliados tem a predisposição a apresentar o crescimento em consequência do aumento da população, exigindo mais espaço no interior urbano, o qual amplia a extensão desta área.

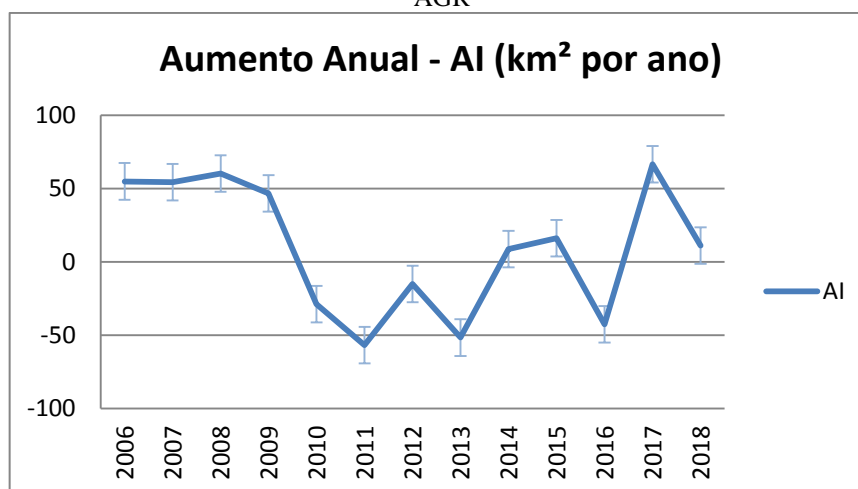
Tabela 31 - Distribuição das áreas para cada classe de uso e cobertura da terra na bacia em estudo (2005-2018)

Ano/Us	Uso da terra	Caatinga arbórea	Caatinga arbustiva	Formação campestre	Agropecuária	Área artificial	Solo exposto	Corpos Hídricos
2005	Área (km ²)	75,30	4825,18	23,10	1522,35	3,83	3,62	19,46
	Área (%)	1,16%	74,55%	0,36%	23,52%	0,06%	0,06%	0,30%
2006	Área (km ²)	77,96	4879,27	21,29	1468,13	3,82	3,31	19,05
	Área (%)	1,20%	75,38%	0,33%	22,68%	0,06%	0,05%	0,29%
2007	Área (km ²)	80,14	4914,14	38,69	1414,82	3,82	4,17	17,05
	Área (%)	1,24%	75,92%	0,60%	21,86%	0,06%	0,06%	0,26%
2008	Área (km ²)	78,99	4996,38	17,95	1346,81	5,43	3,00	24,27
	Área (%)	1,22%	77,19%	0,28%	20,81%	0,08%	0,05%	0,37%
2009	Área (km ²)	79,28	5049,59	11,26	1300,79	5,92	2,65	23,33
	Área (%)	1,22%	78,01%	0,17%	20,10%	0,09%	0,04%	0,36%
2010	Área (km ²)	75,84	5022,42	13,19	1331,72	5,66	2,09	21,90
	Área (%)	1,17%	77,59%	0,20%	20,57%	0,09%	0,03%	0,34%
2011	Área (km ²)	76,05	4970,39	8,36	1389,73	5,58	2,03	20,69
	Área (%)	1,17%	76,79%	0,13%	21,47%	0,09%	0,03%	0,32%
2012	Área (km ²)	73,27	4943,82	22,74	1413,61	5,32	1,51	12,56
	Área (%)	1,13%	76,38%	0,35%	21,84%	0,08%	0,02%	0,19%
2013	Área (km ²)	71,27	4897,42	19,59	1468,46	5,95	1,55	8,59
	Área (%)	1,10%	75,66%	0,30%	22,69%	0,09%	0,02%	0,13%
2014	Área (km ²)	70,38	4912,06	14,64	1459,94	6,43	1,56	7,83
	Área (%)	1,09%	75,89%	0,23%	22,55%	0,10%	0,02%	0,12%
2015	Área (km ²)	71,84	4924,09	17,35	1444,48	6,32	2,05	6,70
	Área (%)	1,11%	76,07%	0,27%	22,32%	0,10%	0,03%	0,10%
2016	Área (km ²)	69,29	4880,16	21,39	1482,98	7,25	4,04	7,72
	Área (%)	1,07%	75,39%	0,33%	22,91%	0,11%	0,06%	0,12%
2017	Área (km ²)	70,66	4942,40	24,33	1417,57	7,76	4,33	5,79
	Área (%)	1,09%	76,36%	0,38%	21,90%	0,12%	0,07%	0,09%
2018	Área (km ²)	70,40	4900,47	77,78	1392,72	11,06	6,54	13,86
	Área (%)	1,09%	75,71%	1,20%	21,52%	0,17%	0,10%	0,21%

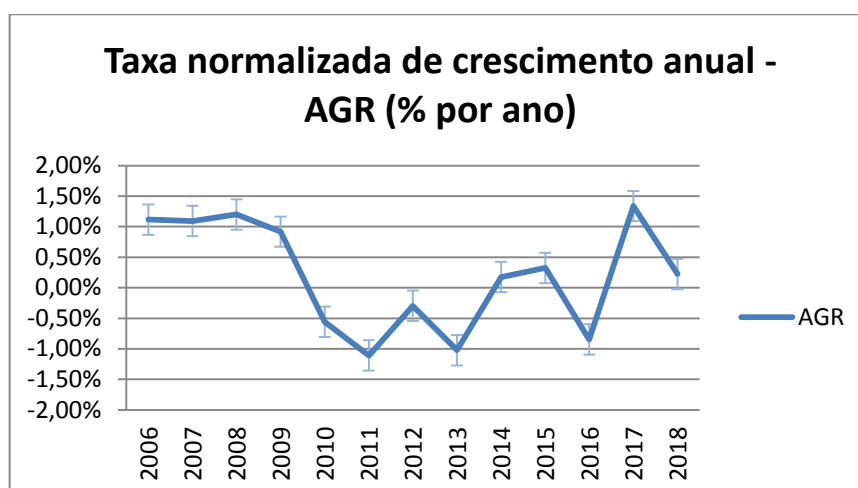
Fonte: Elaboração própria.

Nas Figuras 23 examinam-se as mudanças proporcionais sofridas pela tipologia mais representativa na área de estudo, que é a vegetação nativa, com o objetivo de encontrar quais são os anos dentro do intervalo de 2005 a 2018 os quais as alterações foram mais perceptíveis, para a análise visual dos mapas. Dessa maneira, foram calculados dois índices para quantificar as modificações da cobertura vegetal: o aumento anual (AI) e a taxa normalizada de crescimento anual (AGR).

Figura 23 - Mudanças da vegetação nativa ao longo dos anos (2005-2018) para a bacia em estudo: (a) AI, (b) AGR



(a) Aumento anual da vegetação nativa em km² para a bacia em estudo



(b) Taxa normalizada de crescimento anual da vegetação nativa em % para a bacia em estudo

Fonte: Elaboração própria.

Assim, através da avaliação dos dados dos gráficos anteriores percebeu-se que a vegetação nativa sofreu alterações mais notórias entre os anos de 2005, 2008, 2013 e 2018. Em relação ao ano de 2005 a 2018, houve um aumento de aproximadamente 125,078 km² da vegetação nativa.

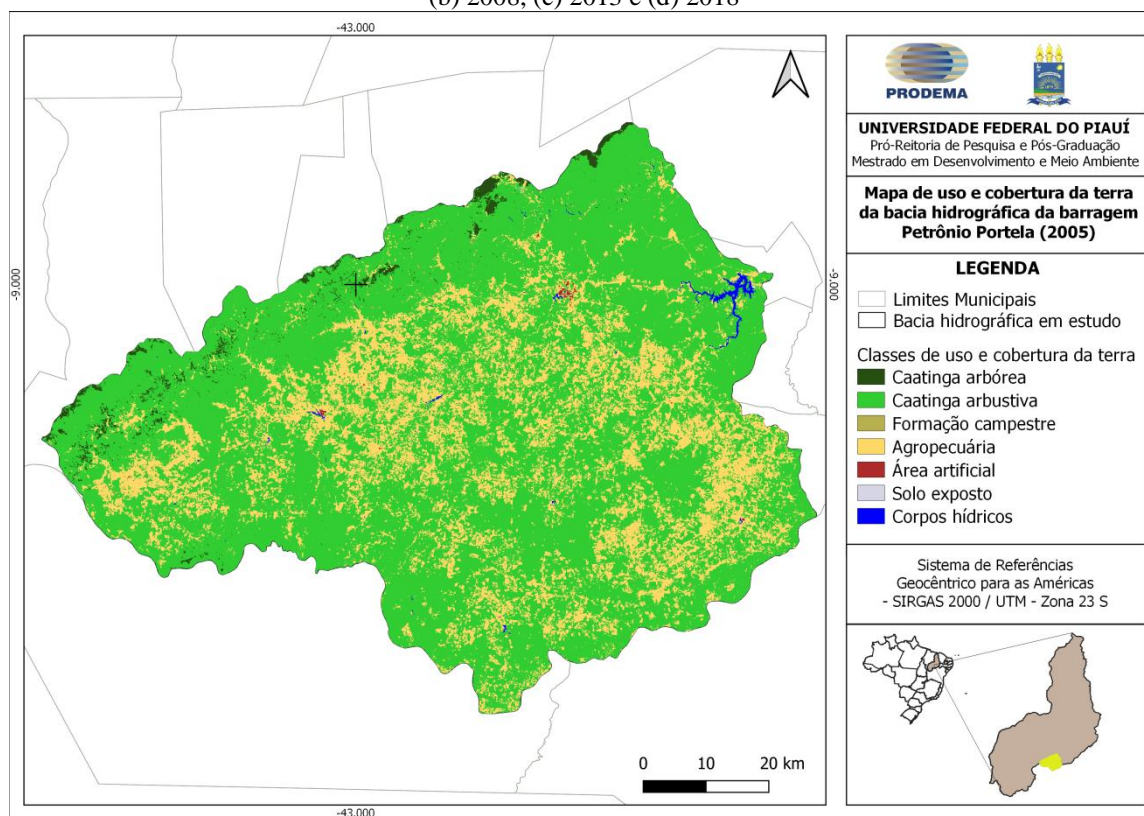
A variação da vegetação nativa pode ser esclarecida, conforme apontado por Carvalho e Nery (2018), pela variabilidade climática existente na região, devido principalmente à precipitação, a qual apresenta relação positiva com a cobertura vegetal. Os resultados mostraram que a região apresentou padrões similares e relações positivas entre a variação da cobertura vegetal e a da precipitação, das quais as variações mais perceptíveis observadas na cobertura vegetal (2005, 2008, 2013 e 2018) acompanharam as alterações

impostas pelo clima. Dos 14 anos analisados, destacou-se o ano de 2009 que representou um ano de anomalia positiva, com precipitação acima da média climatológica e com a maior área de vegetação nativa.

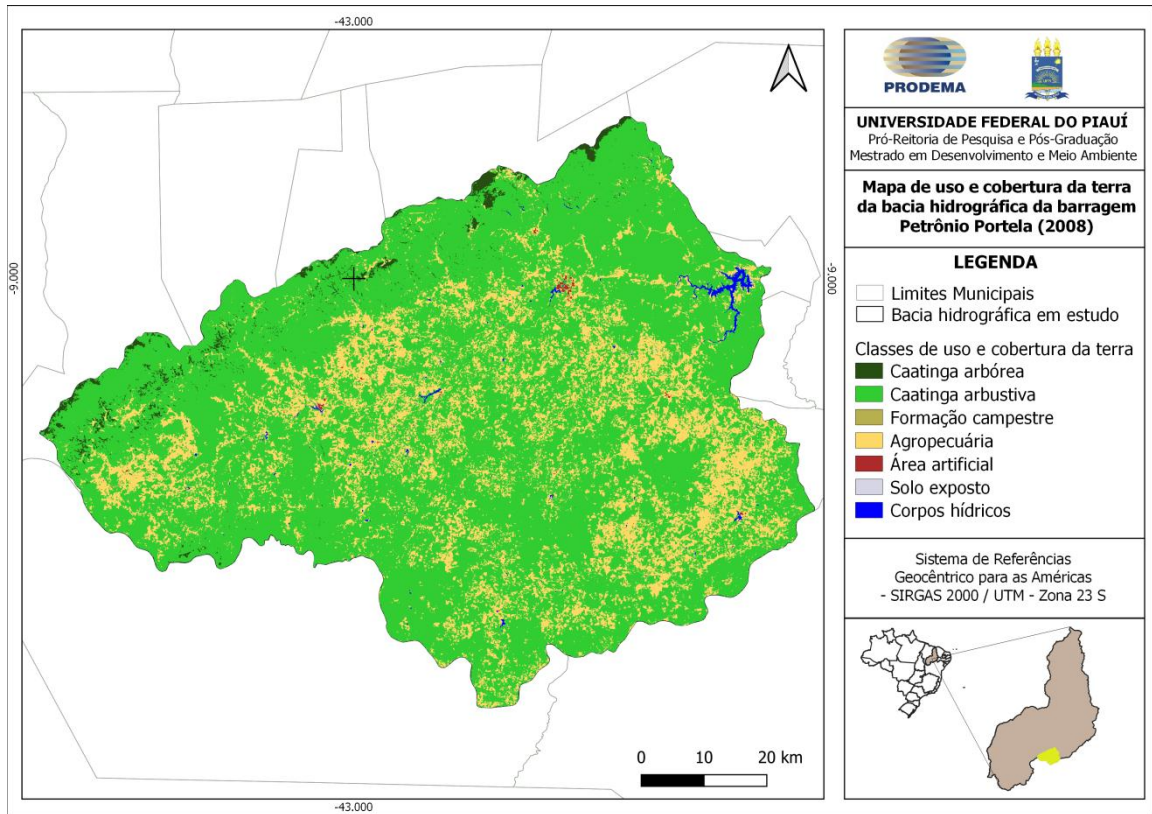
Já a tipologia área artificial e solo exposto tiveram um aumento, nesse intervalo de 14 anos, de 7,226 km² e 2,925 km², respectivamente. Enquanto nas classes agropecuária e corpos hídricos observou-se uma redução na extensão das mesmas de 129,629 km² e 5,6 km², nesta ordem.

Os mapas de uso e cobertura da terra para esses anos estão inseridos nas Figuras 24. Logo, para a análise da evolução das perdas de solo provocadas por erosão pluvial do solo na bacia em estudo, escolheu-se trabalhar com tais anos para a geração dos mapas finais.

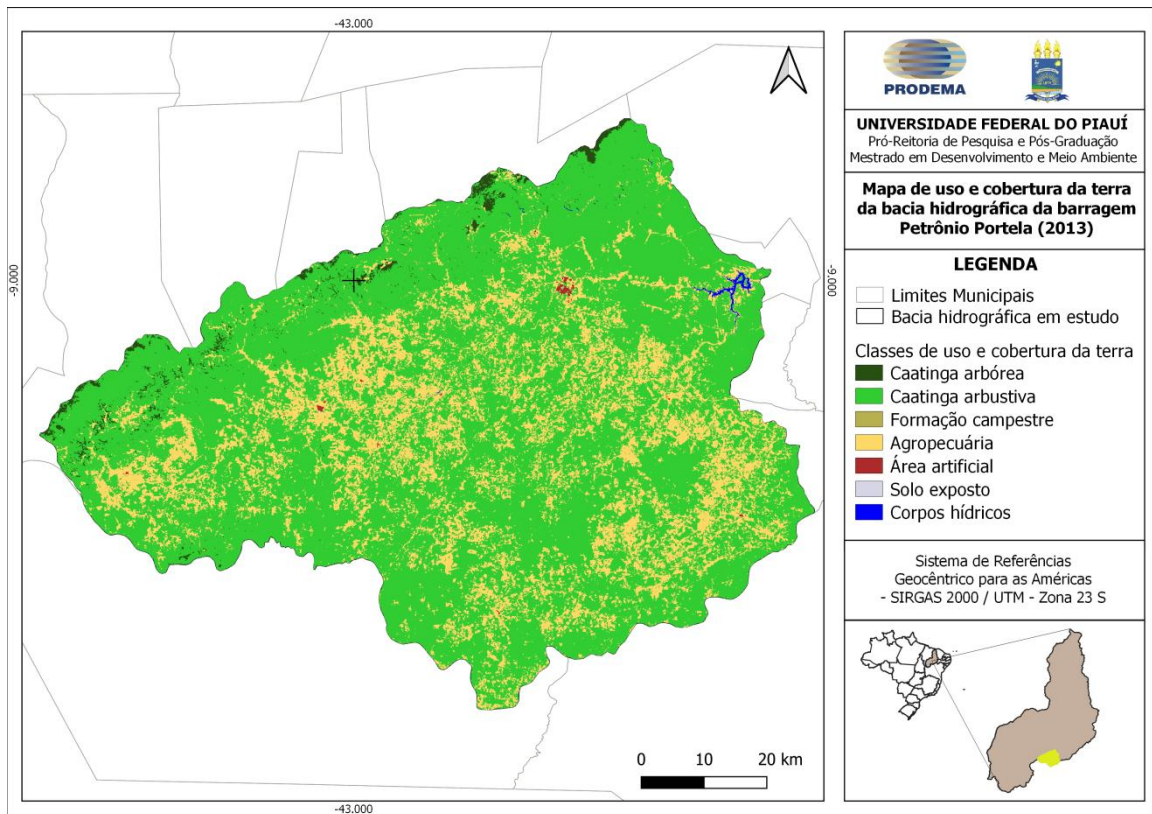
Figura 24 - Evolução do uso e cobertura vegetal na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela: (a) 2005, (b) 2008, (c) 2013 e (d) 2018



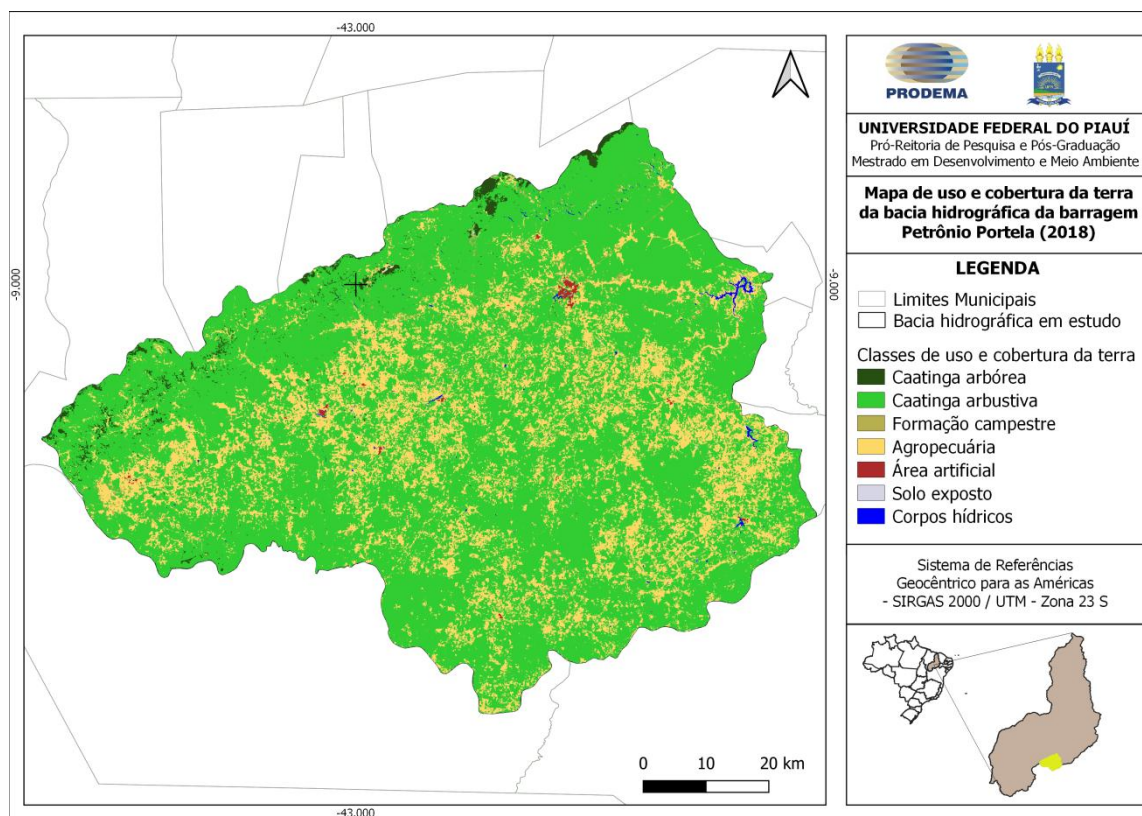
(a) Uso e cobertura da terra na bacia em 2005



(b) Uso e cobertura da terra na bacia em 2008



(c) Uso e cobertura da terra na bacia em 2013



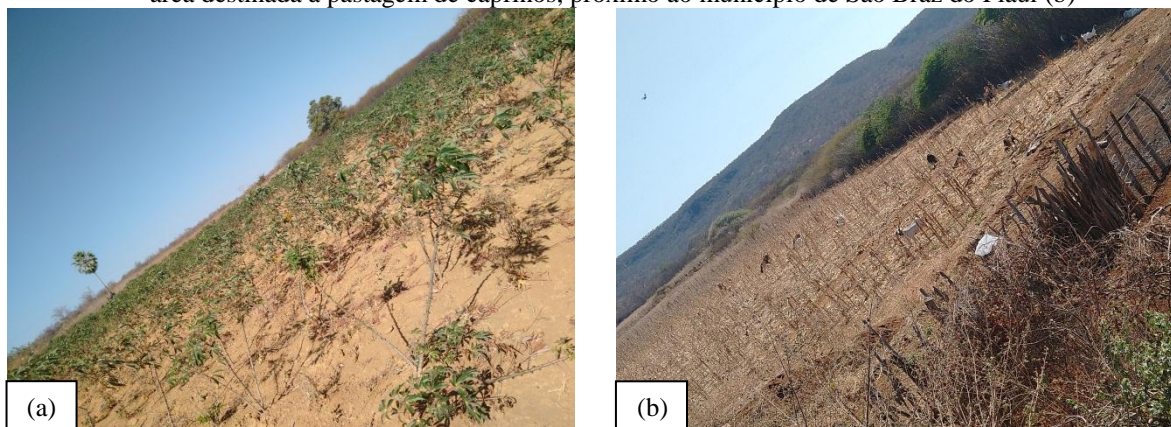
(d) Uso e cobertura da terra na bacia em 2018

Fonte: Elaboração própria.

É importante destacar que o uso e cobertura do solo em uma bacia hidrográfica é um reflexo das atividades executadas no período em que esta área foi ocupada, estas atividades são intensificadas ao longo do tempo, resultando, conseqüentemente, na modificação da paisagem (MELO, 2018). Na bacia hidrográfica da barragem Petrólio Portela as áreas destinadas à agropecuária correspondem ao tipo mais antigo de exploração e uso do solo na mesma.

A análise da paisagem, através da visita em campo, mostra que as atividades agrícolas e pecuárias são praticadas, essencialmente, em terrenos planos. A economia agrícola da região não é diversificada, com o predomínio de culturas agrícolas temporárias, tais como mandioca e milho. Na pecuária a presença de caprinos é intensa, enquanto a de gado é menos comum. Contudo, as atividades agropecuárias resultam em impactos ambientais na paisagem, por meio das alterações realizadas no meio, devido, sobretudo, à retirada da vegetação nativa. Logo, o desmatamento e a degradação do solo são os tipos de danos ambientais que ocorrem mais frequentemente, provocados pelas atividades agropecuárias. Na Figura 25 tem-se a exemplificação de atividades agropecuárias executadas na área de estudo.

Figura 25 - Agricultura familiar, cultivo de mandioca, próximo ao município de São Raimundo Nonato (a) e área destinada à pastagem de caprinos, próximo ao município de São Braz do Piauí (b)

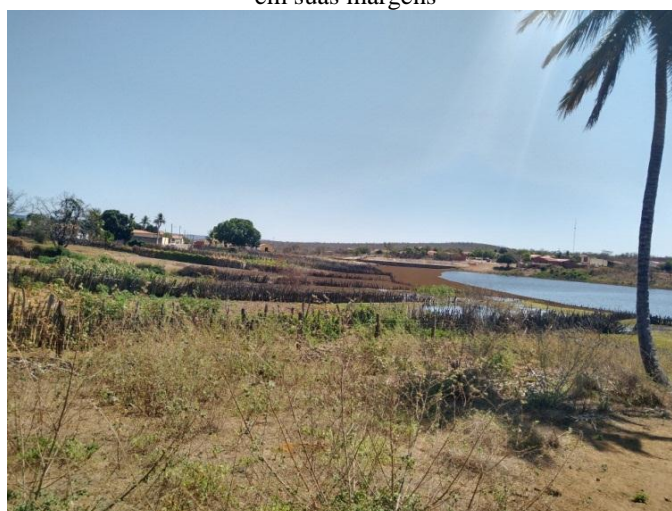


Fonte: Acervo pessoal.

As atividades agropecuárias também provocam modificação na mata ciliar nas margens dos corpos hídricos. Isso ocorre por essa vegetação estar inserida em locais de melhores condições para a prática agropecuária, ocasionando a sua alteração. Segundo apontado por Bertoni e Lombardini Neto (2012), a retirada da vegetação ciliar pode intensificar a ocorrência dos processos erosivos, uma vez que sua função é facilitar o processo de infiltração da água no solo, interceptando a força cinética da água da chuva.

Desse modo, observou-se que apesar de reconhecida a importância ecológica da mata ciliar nos corpos hídricos, sua alteração na área de estudo, principalmente próxima a regiões agropecuárias nas zonas rurais (Figura 26), é significativa. Por outro lado, observou-se na região que os corpos hídricos inseridos dentro das zonas urbanas também possuíam sua vegetação ciliar alterada.

Figura 26 - Rio Piauí, no município de Jurema, com ausência de mata ciliar e presença de atividades agrícolas em suas margens

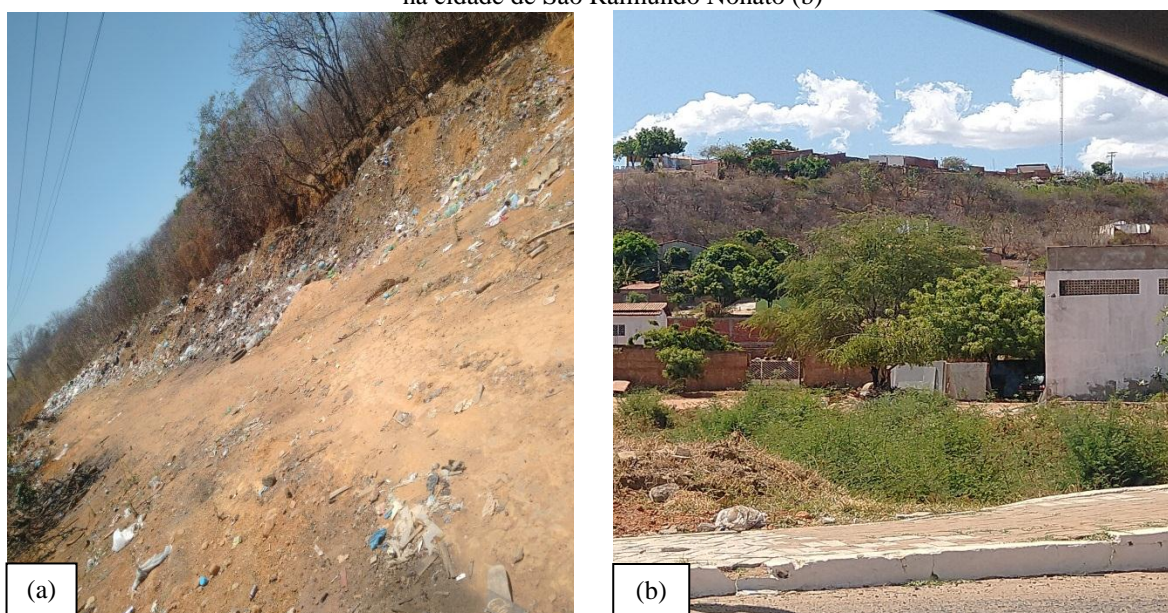


Fonte: Acervo pessoal.

Um outro aspecto a ser levado em conta são os impactos ambientais decorrentes da urbanização. A problemática ambiental ocasionada pela urbanização ocorre desde a poluição do meio natural, o desmatamento e impermeabilização do solo para a construção e edificação de moradias e estabelecimentos, até a própria localização, (MELO, 2018). Na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela pôde-se perceber a deposição de lixo nos arredores das localidades urbanizadas, conforme é mostrado na Figura 27. O acúmulo de lixo no solo provoca a contaminação do solo, do ar e de afluentes. Desse modo, segundo Cajuí (2018), a intervenção antrópica no uso do solo introduz novas forças que vão resultar na alteração, em escala variável, nas condições de equilíbrio do sistema natural.

Quanto à existência das áreas artificiais, resultado das atividades antrópicas, percebeu-se que na área de estudo as mesmas se encontram primordialmente em regiões de relevos planos. Entretanto, também foi observada a existência de ocupação urbana em regiões de relevo íngreme, principalmente no município de São Raimundo Nonato, como é mostrado na Figura 27. Essa forma de ocupação, dependendo das características físicas, naturais do ambiente e da infraestrutura presente, pode apresentar um determinado grau de vulnerabilidade, que poderá alocar em risco a população urbana. Isso ocorre porque as vertentes em ambientes urbanos, com declividades acentuadas, quando apropriadas e ocupadas, podem gerar ambientes morfodinâmicos instáveis vulneráveis à ocupação do relevo (MIYAZAKI; NUNES, 2018).

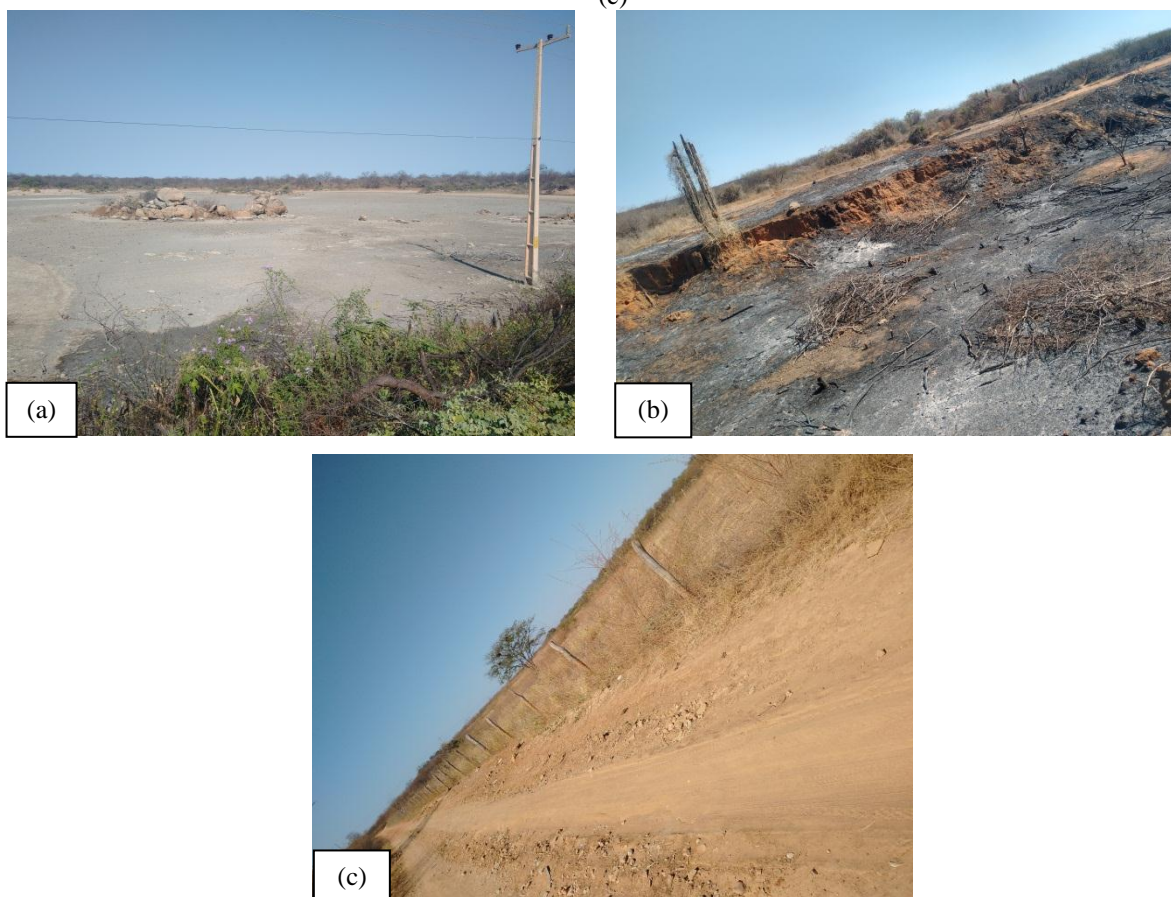
Figura 27 - Deposição de lixo no município de São Braz do Piauí (a) e ocupação urbana em relevos acentuados na cidade de São Raimundo Nonato (b)



Fonte: Acervo pessoal.

Acrescenta-se, ainda, que, tanto próximo às sedes municipais das cidades que compõe a bacia, como nas zonas rurais da área em estudo, foi considerada comum a existência de áreas com solo exposto, ou seja, áreas sem a presença de vegetação. As áreas de solo exposto na bacia, conforme mostrado na Figura 28, encontram-se localizadas principalmente em regiões de relevo mais plano e foram ocasionadas, essencialmente, através de desmatamento e queimadas, podendo esses ser resultados da “limpeza” de espaços para construções, plantio ou para a criação de animais. Outras áreas de solo exposto comuns na paisagem da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela são as estradas rurais de terra. Essas estradas possuem baixa capacidade de infiltração de águas pluviais no solo, tornando-o mais propício ao escoamento superficial e transporte de sedimentos (CASARIN; OLIVEIRA, 2009).

Figura 28 - Trecho de solo exposto próximo a BR-324 (a), área com solo exposto ocasionado por queimadas, próxima ao município de Anísio de Abreu (b) e estrada vicinal de terra na zona rural de São Raimundo Nonato (c)



Fonte: Acervo pessoal.

Vale ressaltar que a exposição do solo contribui significativamente para a sua degradação, o que desencadeia muitos problemas ambientais, com destaque para o aumento da suscetibilidade ao processo erosivo, podendo ocasionar a formação de ravinas (voçoroca ou boçoroca), como é exemplificado na Figura 29.

Figura 29 - Erosão do solo em área de solo exposto na bacia hidrográfica em estudo



Fonte: Acervo pessoal.

Por fim, levando-se em consideração a geração dos mapas para análise da variação do uso e cobertura da terra em uma região, segundo Cajuí (2018), nos produtos alcançados por meio do sensoriamento remoto a confiabilidade dos mapas está sujeita a sua exatidão. Nesse contexto, obtido o mapa de uso e cobertura da terra para uma área é primordial a aplicação de procedimentos estatísticos que definam a acurácia temática dos resultados. A validação mensura e aponta a compatibilidade de suas informações com a superfície real, sendo realizada através da consulta a diferentes dados e utilizando diversos coeficientes (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007).

O resultado da validação da classificação de uso e cobertura da terra para a área em estudo, obtida no MapBiomias, está representado na matriz de confusão (Tabela 32), na qual os pontos das setes classes temáticas foram analisados e tiveram suas classes reais indicadas na tabela, de acordo com o trabalho de campo. Vale ressaltar que a visita em campo, na bacia hidrográfica em estudo, foi realizada em pontos aleatórios da mesma, porém que tivessem facilidade de acesso. Desse modo, a validação das classes abordadas foi efetuada através da consulta em campo de 145 pontos na bacia.

Dos 145 pontos escolhidos, 58 foram da classe agropecuária, onde 34 confirmaram a classe, representando 58,62% de acertos. Esta classe foi a segunda com o menor índice de

exatidão, uma vez que grande parte dos pontos que foram classificados incorretamente, 16, eram compatíveis com solo exposto. A classe caatinga arbórea foi a que apresentou o menor índice de exatidão, de 50%. Contudo, isso se deve, principalmente, à dificuldade de acesso aos pontos na área de estudo agrupados nesta classe de uso e cobertura da terra, a qual foi possível a realização da validação de apenas 2 pontos.

A classe com o maior acerto percentual foi a de corpos hídricos, na qual 100% dos pontos estavam compatíveis com a mesma. A segunda classe com maior índice de exatidão foi a de área artificial, com 95%, onde somente 1 ponto foi enquadrado incorretamente, na classe solo exposto. Dos 25 pontos escolhidos da classe caatinga arbustiva, 21 estavam classificados corretamente, correspondendo a 84%, e somente 4 não eram compatíveis, sendo classificados como solo exposto.

Já as classes de formação campestre e solo exposto tiveram índices de exatidão de 76,47% e 71,43%, respectivamente. Os pontos errados na classificação de formação campestre apresentaram-se mais compatíveis com as classes caatinga arbustiva e área artificial. Enquanto os pontos incompatíveis com a classificação solo exposto demonstraram pertencimento às classes corpos hídricos e área artificial. Nesse contexto, o percentual total de acerto para as 7 classes de uso e cobertura da terra analisadas foi de 76,50%, o índice de exatidão global foi de 0,738, enquanto o índice de Kappa calculado foi de 0,676. Assim, considerando o valor de referência do índice de Kappa, compatível ao desempenho da classificação do uso e cobertura da terra, o mapeamento realizado neste estudo se enquadrou no desempenho “muito boa”.

Vale ressaltar que mesmo a validação da classificação de uso e cobertura da terra apresentando resultados satisfatórios, os pontos avaliados que representaram erros nas classes apresentaram particular tendência a pertencerem à classe solo exposto. Isso pode ser demonstrado avaliando os pontos enquadrados à classe agropecuária, onde aproximadamente 66,7% dos pontos incompatíveis com a mesma ajustavam-se à classe solo exposto. Além disso, é importante destacar que a subjetividade da interpretação em campo representa uma das limitações da própria técnica de validação, já que o conhecimento a campo auxilia na seleção das amostras para a validação da classificação.

Tabela 32 - Matriz de confusão obtida a partir da validação com trabalho de campo

Classes	Corpos hídricos	Caatinga arbustiva	Caatinga arbórea	Formação campestre	Área artificial	Solo exposto	Agropecuária	Total	Acertos
Corpos hídricos	9							9	100,00%
Caatinga arbustiva		21				4		25	84,00%
Caatinga arbórea			1				1	2	50,00%
Formação campestre		3		13	1			17	76,47%
Área artificial					19	1		20	95,00%
Solo exposto	2				1	10	1	14	71,43%
Agropecuária		3		4	1	16	34	58	58,62%
Total	11	27	1	17	22	31	36	145	76,50%

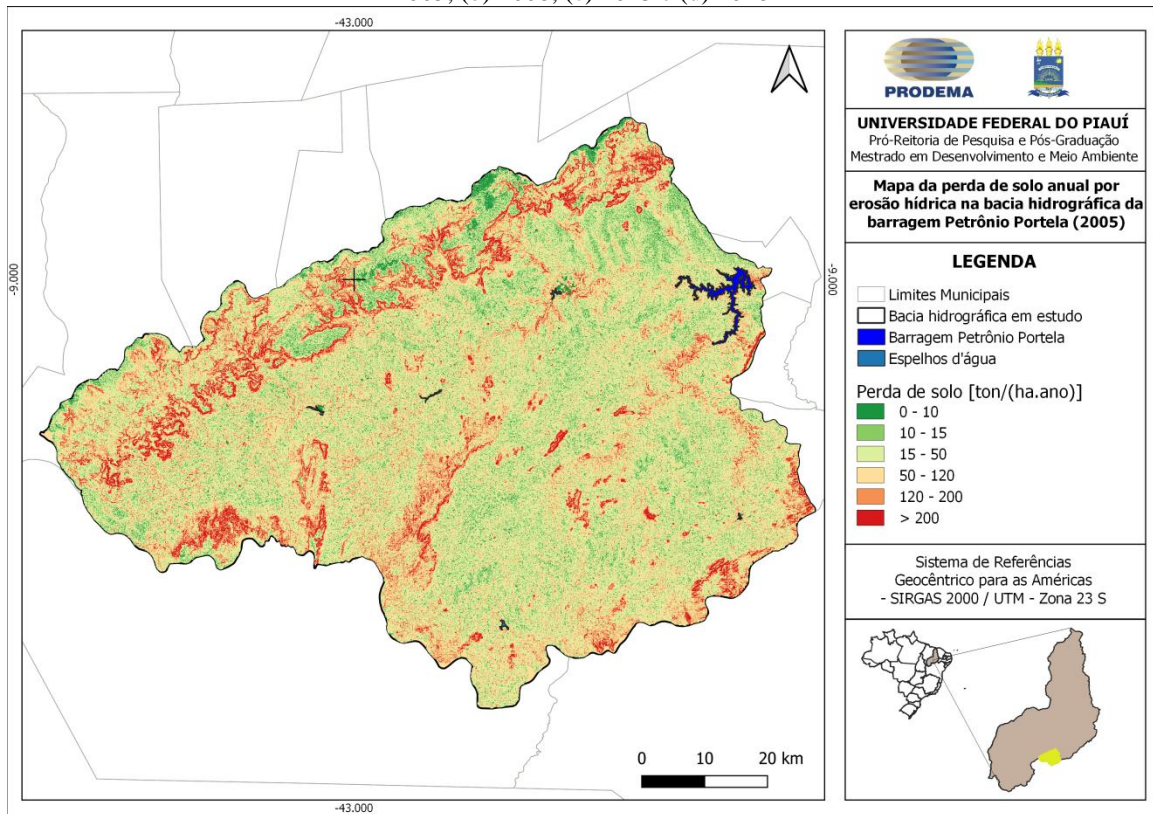
Fonte: Elaboração própria.

5.1.5. Perda de solo na bacia

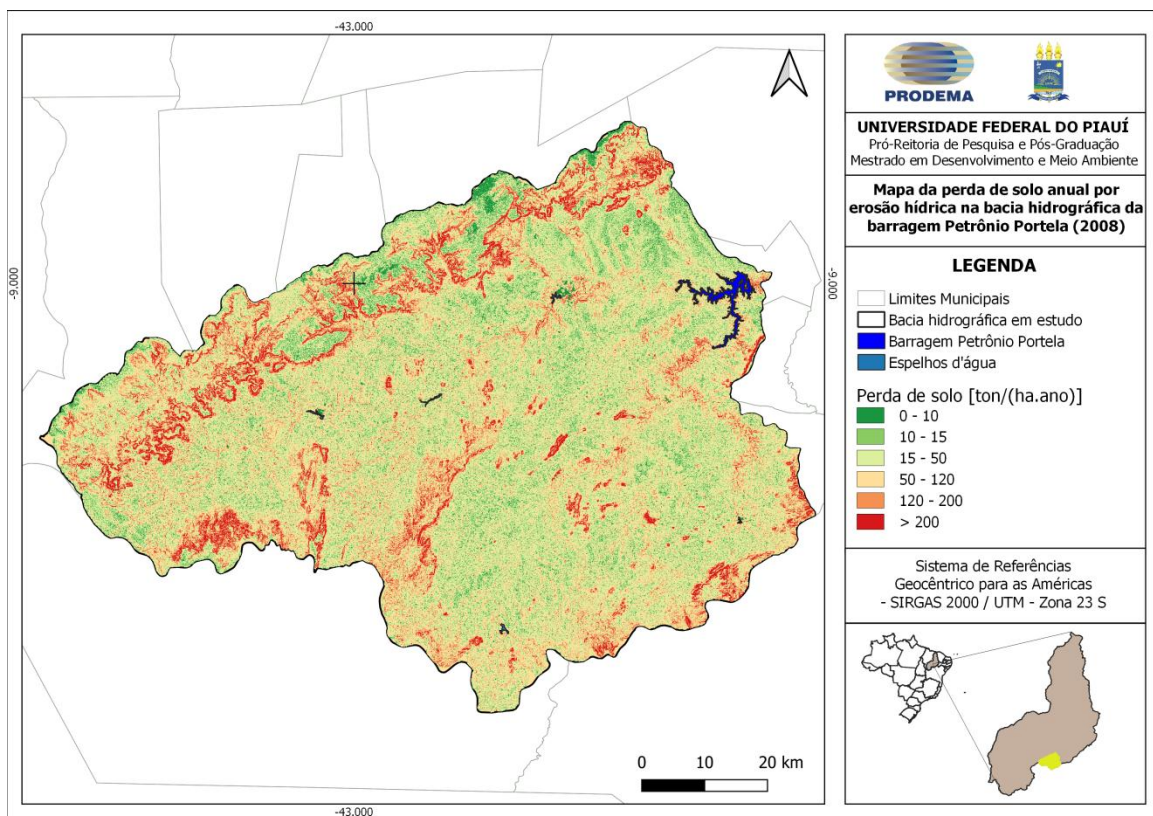
Depois da reunião das informações apresentadas no estágio metodológico, os resultados obtidos que integravam os fatores da RUSLE, anteriormente mostrados e discutidos, derivaram na delimitação da perda de solo ocasionada por erosão pluvial do solo na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela. Para isso, foi realizada a álgebra de mapas em ambiente SIG, resultando nos 4 mapas de perdas de solo (2005, 2008, 2013 e 2018).

É importante destacar que devido às restrições da Equação Universal de Perda de Solo Revisada, os valores estimados devem ser analisados qualitativamente, ou seja, quanto ao potencial das áreas em perder solo através de erosão hídrica, e não quantitativamente (STEIN *et al.*, 1987). Dessa forma, os mapas gerados (Figura 30) foram reclassificados em cinco classes do grau de erosão, conforme indicado por Carvalho (2008).

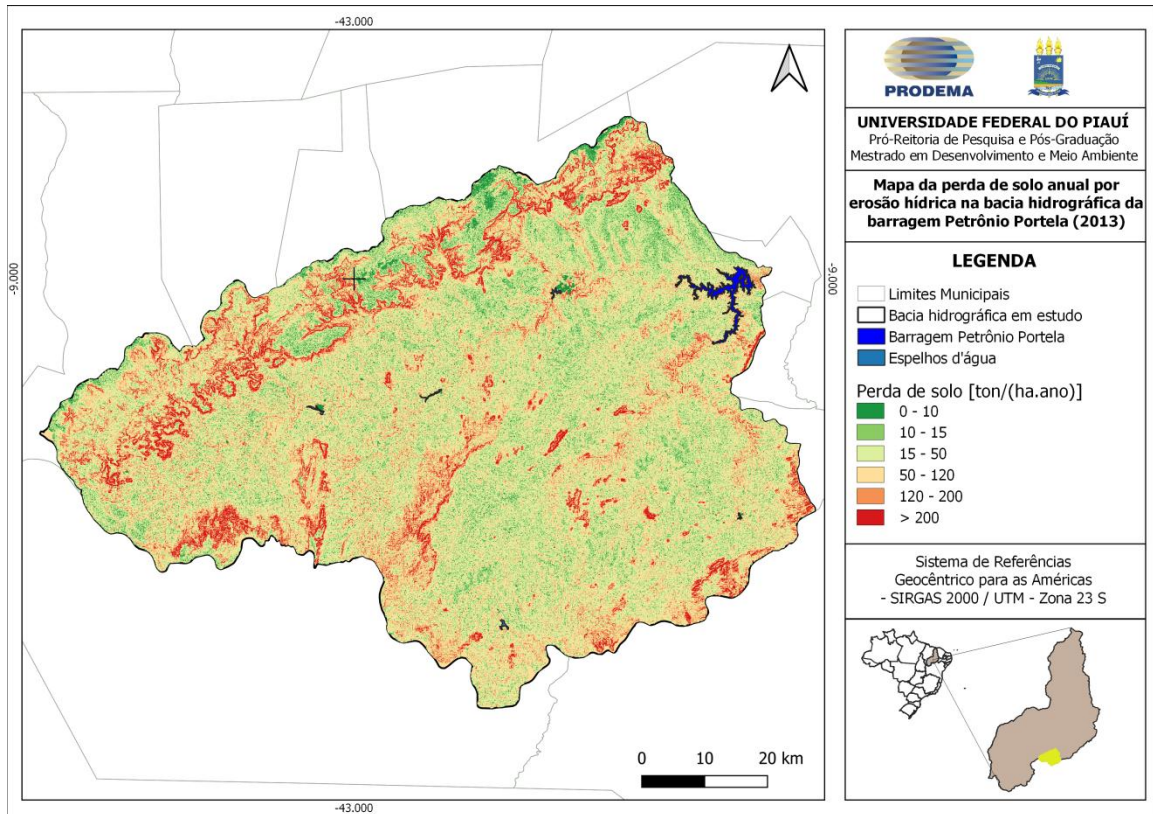
Figura 30 - Evolução da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica da barragem Petrónio Portela: (a) 2005, (b) 2008, (c) 2013 e (d) 2018



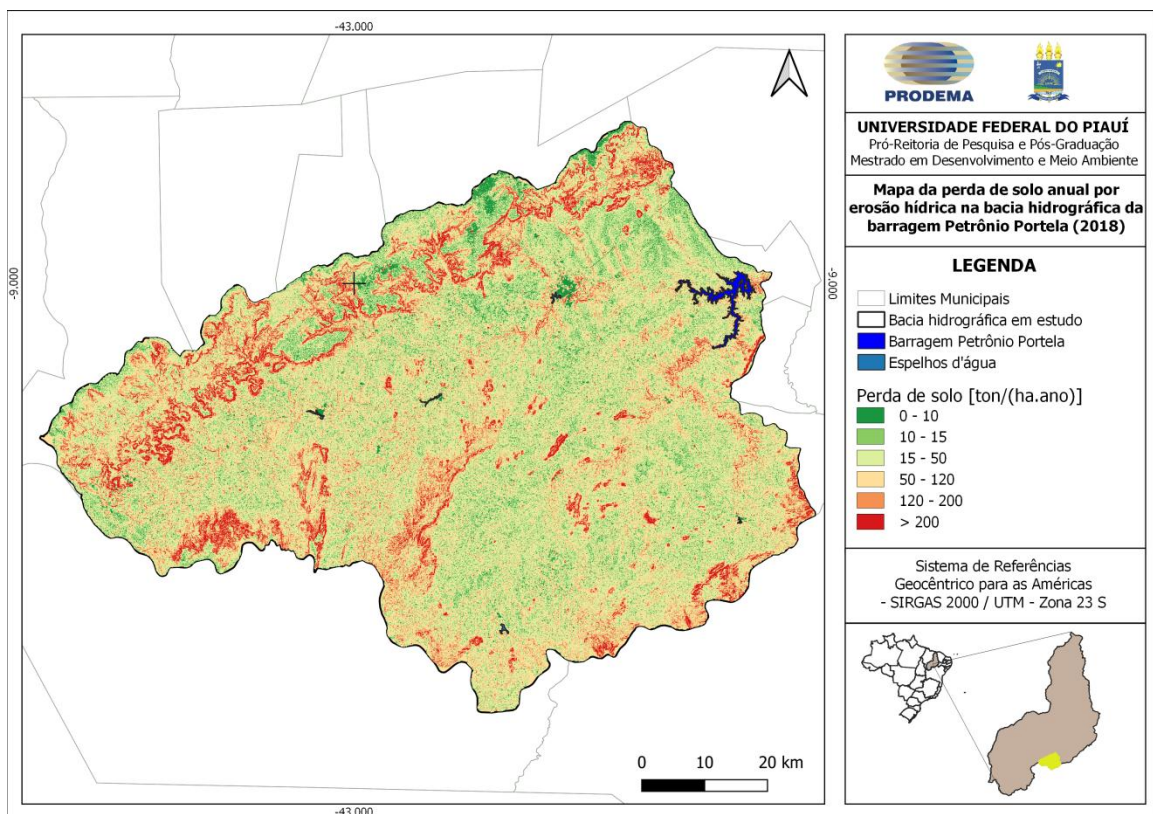
(a) Perda de solo estimada na bacia em estudo para o ano 2005



(b) Perda de solo estimada na bacia em estudo para o ano 2008



(c) Perda de solo estimada na bacia em estudo para o ano 2013



(d) Perda de solo estimada na bacia em estudo para o ano 2018

Fonte: Elaboração própria.

Quanto à perda de solo, observou-se que, entre os quatro anos estudados, houve uma mudança pouco perceptível segundo os mapas e a Tabela 33. Analisando os mapas gerados em conjunto com os mapas dos outros fatores da RUSLE percebeu-se que a espacialização dos valores de perda de solo, ocasionadas por erosão, está relacionada principalmente à topografia da bacia hidrográfica (fator LS) e com uma relevância menor, aos fatores restantes R, K, CP.

Tabela 33 - Áreas ocupadas pelas classes de perda de solos por erosão pluvial e sedimentos gerados por erosão nos anos 2005, 2008, 2013 e 2018 na bacia em estudo

Ano	Classes [ton/(ha.ano)]	Área de ocupação		Sedimentos gerados		Perda de solo média ponderada [ton/(ha.ano)]
		km ²	%	ton/ano	%	
2005	0 – 10	511,33	7,90%	262735,27	0,56%	5,14
	10 – 15	395,99	6,12%	509030,19	1,09%	12,85
	15 – 50	2546,45	39,34%	7994474,06	17,04%	31,39
	50 – 120	2020,57	31,22%	15351873,98	32,72%	75,98
	120 – 200	590,85	9,13%	8895630,85	18,96%	150,56
	> 200	407,64	6,30%	13900138,54	29,63%	340,99
2008	0 – 10	523,81	8,09%	266321,34	0,58%	5,08
	10 – 15	406,07	6,27%	519583,75	1,12%	12,80
	15 – 50	2569,56	39,70%	8056840,92	17,42%	31,35
	50 – 120	1994,95	30,82%	15128461,49	32,71%	75,83
	120 – 200	578,17	8,93%	8708379,51	18,83%	150,62
	> 200	400,27	6,18%	13568489,85	29,34%	338,98
2013	0 – 10	499,34	7,71%	263187,36	0,56%	5,27
	10 – 15	399,95	6,18%	513139,41	1,10%	12,83
	15 – 50	2558,52	39,53%	8023638,92	17,22%	31,36
	50 – 120	2016,67	31,16%	15305966,93	32,85%	75,90
	120 – 200	592,78	9,16%	8923180,92	19,15%	150,53
	> 200	405,58	6,27%	13562136,06	29,11%	334,39
2018	0 – 10	553,76	8,56%	282370,19	0,60%	5,10
	10 – 15	409,39	6,32%	522650,54	1,11%	12,77
	15 – 50	2544,32	39,31%	7968545,70	16,95%	31,32
	50 – 120	1974,73	30,51%	14989088,10	31,89%	75,90
	120 – 200	580,77	8,97%	8751927,28	18,62%	150,70
	> 200	409,86	6,33%	14492315,24	30,83%	353,59

Fonte: Elaboração própria.

Logo, percebeu-se que as maiores perdas de solo, ou seja, os maiores percentuais de sedimentos gerados por erosão na bacia em estudo, ocorreram nas áreas com erosão classificadas como moderada a forte, forte ou muito forte, principalmente nas áreas onde predominam declividades mais acentuadas (maiores valores de LS) associadas a solo exposto,

agropecuária e onde os solos característicos apresentavam alto potencial erosivo, tais como os Argilossolos Vermelho-Amarelos. Além disso, vale ressaltar que as extensões com maiores concentrações de perdas de solo por erosão são as que estão localizadas nas áreas de influências dos postos pluviométricos de Baluarte e Campo Alegre de Lourdes, ou seja, onde foram observadas as maiores taxas de erosividade das chuvas.

Em termos percentuais pode-se analisar que a maior parte da bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, durante os anos de 2005, 2008, 2013 e 2018, encontra-se inserida nas classes de perdas de solo de 15 a 50 e 50 a 120 ton/ha.ano, ou seja, uma área média anual de 39,47% possui o grau moderado de erosão e 30,93% está localizada em região de moderada a forte erosão, respectivamente. A classe seguinte é a de erosão forte, recobrindo aproximadamente 9,05% da superfície.

A classe de 0 a 10 ton/ha.ano, ou seja, com erosão nula a muito fraca, ocupa uma extensão média anual de 8,07%. É preciso considerar que nesta classe o fator CP foi determinante em resultar em perdas de solo iguais a zero, devido a presença de corpos hídricos, nos quais o valor deste fator é nulo. A classe de grau de erosão muito forte ocorre em 6,27% da área, enquanto que a classe de erosão fraca ocorre, minoritariamente, em 6,22% da bacia em estudo.

Os valores apurados da perda de solo média ocasionada por erosão para os anos de 2005, 2008, 2013 e 2018 foram de 72,48, 71,45, 71,98 e 72,62 ton/ha.ano, respectivamente. Assim, a bacia estudada apresenta o potencial erosivo moderado a forte, segundo a classificação de Carvalho (2008).

É possível notar que nos anos de 2005 e 2018 houve uma maior quantidade de perda de solo por erosão pluvial na bacia. Isso pode ser atribuído, principalmente, à maior presença de solos expostos nesses anos. Contudo, o ano de 2018 apresentou-se como o mais erosivo não somente pela quantidade de solos expostos, como também por uma extensa área dedicada à atividade agropecuária. Já no ano de 2008, que foi o menos erosivo dentre os 4 anos observados, percebeu-se uma maior quantidade de áreas voltadas à vegetação nativa, e a menor extensão de áreas agropecuárias. Desse modo, foi possível observar que as mudanças no uso e cobertura da terra alteram os padrões naturais de erosão, aumentando as perdas de solo ocasionadas por este fenômeno.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

A utilização de bacias hidrográficas em estudos de natureza ambiental favorece a obtenção de um conhecimento integrado dos fenômenos resultantes da suspensão do equilíbrio do meio ambiente. Em regiões semiáridas, reitera-se a importância da aplicação do conceito de bacias hidrográficas para que as diversidades não somente ambientais, como também sociais e econômicas possam ser percebidas, ocasionando em ações de gestão baseadas na problemática local. Isso, porque devido às vulnerabilidades físicas desses espaços a vegetação, o solo e os recursos hídricos, segundo Cajú (2018), sofrem intensa degradação, resultando no aumento da suscetibilidade à ocorrência de problemas ambientais, como é o caso da erosão do solo.

Diante disto, esta pesquisa buscou analisar as perdas de solo ocasionadas por erosão pluvial na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, localizada no semiárido piauiense, através da caracterização e análise ambiental somadas à evolução temporal das contribuições antrópicas, permitindo obter um conhecimento mais amplo da região analisada.

Considerando as metodologias existentes para a obtenção do mapeamento da erosão do solo em uma bacia hidrográfica, neste trabalho optou-se pelo uso da versão revisada da Equação Universal de Perda de solo (RUSLE). A principal vantagem da aplicação desta equação é a simplicidade no uso de seus parâmetros em ambientes SIG, possibilitando uma melhor compreensão desses, além de reduzir consideravelmente os gastos durante a execução de estudos ambientais (BARBOSA *et al.*, 2015).

Nesse sentido, partindo para a análise de cada um dos parâmetros que compõe a RUSLE, as chuvas apresentaram um potencial erosivo médio (fator R), com a erosividade média anual calculada igual a 6418,6 MJmm/ha.h.ano, sendo constatado que aproximadamente 70% deste valor ocorre nos meses de janeiro a abril, ou seja, os riscos da ocorrência de erosão do solo são maiores nesses meses. Já os solos da bacia possuem sua erodibilidade (fator K) média equivalente de 0,033 ton.ha/MJmm, o que resulta em um alto potencial de erodibilidade. Dos solos existentes os maiores valores de erodibilidade foram observados nos Argissolos Vermelho-Amarelos, enquanto os menores valores correspondem aos Latossolos Vermelho-Amarelos.

Quanto ao fator topográfico (LS), observou-se que a distribuição das perdas de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela está conectada

principalmente a esse fator e com uma menor importância aos fatores restantes R, K, CP, uma vez que as maiores perdas estimadas estão localizadas nas regiões onde predominam declividades mais acentuadas. Para a análise das contribuições antrópicas para a ocorrência de erosão considerou-se o fator de uso e cobertura da terra e práticas conservacionistas (CP). Para isso, observou-se a variação temporal (2005 a 2018) das principais tipologias de uso e cobertura da terra identificadas na bacia em estudo, das quais foi possível determinar que os anos 2005, 2008, 2013 e 2018 apresentaram as alterações mais notórias.

Desse modo, a bacia apresentou, de um modo geral, um nível de perda de solo considerado moderado a forte, uma vez que os valores calculados para a perda de solo média durante os anos de 2005, 2008, 2013 e 2018 foram de 72,48, 71,45, 71,98 e 72,62 ton/ha.ano, respectivamente. Assim, as maiores perdas de solo ocasionadas por erosão pluvial ocorreram nos anos de 2005 e 2018, devendo-se atentar para o fato de que a extensão de áreas de solo exposto e a de atividades agropecuárias foram as maiores responsáveis pelas variações temporais da taxa de erosão.

Por fim, a utilização de bacias hidrográficas para o mapeamento das perdas de solo ocasionadas por erosão pluvial, ou seja, para estudos ambientais, possibilita a aplicação das mesmas como unidades básicas para o planejamento e gestão ambiental. Portanto, a identificação do reconhecimento de estágio de degradação de uma bacia hidrográfica e a determinação de seus impactos ambientais representam passos primordiais para a gestão ambiental, já que permitem a compreensão das potencialidades e fragilidades do ambiente (MORAIS, 2018).

Além disso, a identificação de áreas associadas a processos de erosão acelerada pode fornecer subsídios para a elaboração de estratégias de planejamento de ações adequadas e associadas ao manejo dos recursos naturais de maneira considerada sustentável. Isso porque, segundo Maynard, Cruz e Gomes (2017), para que ocorra a sustentabilidade de uma bacia hidrográfica é necessária uma mudança de cenário que possa garantir a quantidade e qualidade dos recursos naturais nesse ambiente, de modo que sejam tomadas decisões coerentes com a realidade de cada bacia, equacionando os problemas existentes.

Nesse contexto, os resultados apresentaram a necessidade de uma efetivação de melhorias nas práticas conservacionistas e manejo do solo, como recuperação da cobertura vegetal em áreas de solo exposto, e a rotação de culturas em áreas de agropecuária, com o propósito de reduzir as perdas de solo ocasionadas por erosão hídrica na bacia em estudo. Dessa maneira, através da análise da variação temporal das perdas de solo geradas por erosão pluvial na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela, espera-se ter colaborado para o

desenvolvimento de políticas de gestão ambiental e planejamento territorial da região, bem como para o melhor aproveitamento de seus recursos naturais.

6.2. Sugestões para trabalhos futuros

A presente pesquisa traz a análise das perdas de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica da barragem Petrônio Portela. Entretanto, por limitações impostas, alguns aspectos merecem novos aprofundamentos. Entre eles, destaca-se:

- Calcular os fatores K para os solos encontrados na bacia, através de coletas simples de amostras de solos, em pontos distribuídos nas classes existentes na área, para a obtenção de suas propriedades físicas, comparando os fatores de erodibilidade dos solos calculados com os obtidos pela literatura.
- Estimar a taxa de assoreamento retida no reservatório hídrico, através da integração de área e nível d'água estimada por imagens de satélite para o ano, na qual a taxa de erosão bruta mais atual foi calculada.
- Avaliar a influência da produção de sedimentos nas disponibilidades hídricas atuais e futuras do reservatório.

REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A.N. Nordeste brasileiro: a região semiárida mais povoada do mundo. Fragmentos de leituras – Diversos autores. **Revista de Estudos Avançados**, v.13, n. 35, 1999.
- AGUIAR, L. da C.; *et al.* As políticas públicas no semiárido brasileiro: Uma revisão de literatura. **Revista Econ. NE**, Fortaleza, v.50, n.2, 2019.
- ALBUQUERQUE, C.L. de. **Avaliação das tecnologias sociais como alternativa de convivência com o semiárido cearense: O projeto de cisternas**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Avaliação de Políticas Públicas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ALBUQUERQUE, U.P. *et al.* Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v.2012, p.1–18, 2012.
- ALENCAR, P.G. de. **Cajucultura no semiárido piauiense: Sistemas agrários e dinâmica espacial**. 2018. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2018.
- ALMEIDA FILHO, G.S. de. Controles de erosão. **Fundações & Obras Geotécnicas**, v.5, n.54, 2015.
- ALMEIDA, F.F.M. Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v.7, n.4, 1977.
- AMORIM, I.L. de; SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E. de L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Bot. Bras.**, v.19, n.3, 2005.
- AMORIM, R.S.S.; *et al.* Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, 2010.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Parnaíba**. 2016a. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=432&currTab=distribution>. Acesso em: 18 de jan. de 2020.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. 2018. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/8014bf6e92144a9b871bb4136390f732_0. Acesso em 20 de fev. de 2020.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação**. Relatório Final. Brasília: Engecorps Engenharia, 2016b.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Semiárido**. 2017. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=76&currTab=simple>. Acesso em: 15 de jan. de 2020.

ANA/SEMAR. **Atlas de Abastecimento de Água do Estado do Piauí**. 2006. Disponível em: <http://www.pi.gov.br/download/CANIN.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2019.

ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E.M.; FONSECA, C.R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecol**, 2018.

AQUINO, C.M.S. de; OLIVEIRA, J.G.B. de. Estimativa do fator erodibilidade (K) das associações de solos do estado Piauí descritas em Jacomine (1986). **GEOTemas**, v.7, n.1, 2017.

AQUINO, C.M.S. de; OLIVEIRA, J.G.B. de. Emprego do método de Thornthwaite & Mather (1955) para cálculo do balanço hídrico climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato-Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.1, 2013.

ARAÚJO FILHO, J.A.; *et al.* **Sistema de Produção Agrossilvipastoril no Semiárido do Ceará**. Fortaleza: 2010.

ARAÚJO, E. de L.; CASTRO, C.C. de; ALBUQUERQUE, U.P. de. Dynamics of brazilian caatinga: a review concerning the plants environment and people. *Functional Ecosystems and communities*. **Global Science Books**, v.1, n.1, 2007.

ARAÚJO, E.M. **Estimativa do assoreamento de um pequeno reservatório do semiárido rural através do estudo dos solos e de fontes de sedimento**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, 2012.

ARCILA, R.I.A. **Gestão de recursos hídricos: governança e gerenciamento de conflitos pelo uso da água em região do semiárido nordestino**. 2014. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ASSUNÇÃO, L.M.; LIVINGSTONE, I. Desenvolvimento inadequado: construção de açudes e secas no sertão do Nordeste. **Revista Brasil Economia**, 1993.

BACANI, V. M. **Geotecnologias aplicadas ao ordenamento físico-territorial da bacia do alto rio Coxim-MS**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BAPTISTA, N.Q.; CAMPOS, C.H. A convivência com o Semiárido e suas potencialidades. *In: CONTI, I.L.; SCHROEDER, E.O. Convivência com o Semiárido Brasileiro: Autonomia e Protagonismo Social*. Brasília: Fundação de Apoio a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto Ambiental Brasil Sustentável, Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento, Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome, 2013.

BARBOSA, A.F.; *et al.* Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) em *softwares* livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.38, n.1, 2015.

BARBOSA, A.G. **Sociedade civil na construção de políticas de convivência com o semiárido**. Recife: ASA, 2010.

BARBOSA, A.M.F. **Dinâmicas ambientais e transformações da paisagem no cerrado paisagem**. 2013. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985, 392p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999, 335p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. **RA’EGA**, n.8, 2004.

BISWAS, S.S.; PANI, P. Estimation of soil erosion using RUSLE and GIS techniques: a case study of Barakar River basin, Jharkhand, India. **Earth Syst**, v.1, n.42, 2015.

BOLINA, C. de C.; *et al.* Sistema de informações geográficas: Estimativa da erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite - GO. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaiana**, v.11, 2017.

BOTELHO, R.G.M.; SILVA, A.S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: VITE, A.C.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.153–192.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Página.

BRASIL. SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução Nº 115, de 23 de novembro de 2017, do Conselho Deliberativo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (altera delimitação do Semiárido)**. Diário Oficial da União: Brasília, p.32-34, 5 nov. 2017. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/resolucao115-23112017-delimitacaodosemiario-DOU.pdf>. Acesso em: 2 de fev. de 2020.

BRITO, C.T.S.; *et al.* Avaliação da capacidade de regularização das vazões do açude Petrônio Portela no município de São Raimundo Nonato – PI. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. **Anais**.

BUENO, C.R.P.; ARRAES, C.L.; MIQUELONI, D.P. Aplicação do sistema de informação geográfica para determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.2, 2011.

CABRAL, J.B.P.; *et al.* Uso de técnicas de geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de cachoeira dourada – GO/MG. **Revista RA’EGA**, n.10, 2005.

CABRAL, L.J.R.S.; VALLADARES, G.S.; AQUINO, C.M.S. de. Erosividade das chuvas em parte do alto curso do rio Banabuiu – Sertão central do Ceará. **Revista Equador**, v.3, n.2, 2014.

CAJUÍ, K.N. de S. **Análise das fragilidades ambientais na sub-bacia hidrográfica do Riacho do Sangue, Ceará**. 2018. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. *In*: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas (Aplicações na Agricultura)**. 2.ed. Brasília: SPI/ EMBRAPA-CPAC, 1998.

CAMPOS, J.; *et al.* **Caracterização socioeconômica dos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e da área proposta para inserção da UC Bocaina**. Belo Horizonte: 2016.

CARVALHO, D.F.; MELLO, J.LP.; SILVA, L.D.B. da. **Hidrologia**. Data completa 2007. Notas de aula.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. revisada, atualizada e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.

CARVALHO, N. de O. Sedimentação e proteção de reservatórios. *In*: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais**.

CARVALHO, N. Erosão Crescente na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia**, Caderno de Recursos Hídricos, v.13, n.2, 1995.

CARVALHO, S.I.; NERY, J.T. Influência da variabilidade climática na dinâmica da vegetação natural do bioma Mata Atlântica - abordagem multitemporal. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientas**, v.9, n.4, 2018.

CASARIN, R.D.; OLIVEIRA, E.L. de. Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação. **Irriga**, v.14, n.4, 2009.

CAZULA, L.P.; MIRANDOLA, P.H. Bacia hidrográfica – Conceitos e importância como unidade de planejamento: um exemplo aplicado na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado/SP – Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas/MS**, v.7, n.12, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

CIRILO, J.A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, 2008.

COSTA, F.R. da. **Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (RN)**. 2018. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

COSTA, J.L.P. de O.; *et al.* Estudo fitogeográfico das espécies arbóreas e arbustivas da caatinga piauiense: Parque Nacional Serra da Capivara (Brasil). **ACTA Geográfica**, v.6, n.12, 2012.

COUTINHO, L.M.; *et al.* Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.8, n.1, 2014.

COUTO, B. de O.C. **Estudo da erodibilidade em horizontes de taludes de corte rodoviário por meio de procedimentos de laboratório e campo**. 2020. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado do Piauí**. 2008. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 20 de jan. de 2020.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do Estado do Piauí**. 2006. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 25 de mar. de 2020.

CREUTZFELDT, B. N. A. **Remote sensing based characterisation of land cover and terrain properties for hydrological modelling in the semi-arid Northeast of Brazil**. 2006. Dissertation (Master - Institute of Geoecology) - University of Potsdam, Potsdam, 2006.

CRIADO, C.R.; PIROLI, L.E. Geoprocessamento como Ferramenta para a Análise do Uso da Terra em Bacias Hidrográficas. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial, v.3, n.4, 2012.

CUNHA, S.B. da; GUERRA, A.J.T. **Avaliação e Perícia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

DÉSTRO, G.F.G.; CAMPOS, S. Sig-Spring na caracterização do uso dos solos a partir de imagens do satélite CBERS. **Energia na Agricultura**, v.21, 2006.

DIAS, A.S.; SILVA, R.C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I - distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.27, n.2, 2003.

DURÃES, M.F.; COELHO FILHO, J.A.P.; OLIVEIRA, V.A. de. Water erosion vulnerability and sediment delivery rate in upper Iguaçú river basin – Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n.4, 2016.

EMBRAPA. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da 10. Rio de Janeiro: 1979, 83p.

EMÍDIO, T. **Meio ambiente & Paisagem**. Editora Senac São Paulo. São Paulo: 2006. 165p.

ESPINDOLA, G.M.; CARNEIRO, E.L.N.C.; FAÇANHA, A.C. Four decades of urban sprawl and population growth in Teresina, Brazil. **Applied Geography**, v.79, n.1, 2017.

ESTÊVEZ, L.F.; *et al.* Análise da paisagem da bacia hidrográficoado rio Morumbi, Morretes-PR: unidades de paisagem, fragilidade potencial e hemerobia. **Revista RA'EGA**, v.23, 2011.

FALCÃO, L. C.; *et al.* A aplicação de ferramentas do geoprocessamento para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Mearim – MA. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 22., 2017, Florianópolis. **Anais**.

FERNANDES, L. **Processo hidrossedimentológico na bacia do açude Acarape do Meio, Ceará**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

FERREIRA, A. da S.; FRANCISCO, C.N. Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu – RJ. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14., Natal, 2009. **Anais**.

FIGUEIREDO, G.C.; VIEIRA, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13., 2007, Florianópolis. **Anais**.

FIGUEIREDO, T. de; FONSECA, F. Efeitos do fogo na erosão do solo em áreas de matos: Resultado de um ano de ensaios no Parque Natural do Montesinho. *In: GONÇALVES, A.B; VIEIRA, A. (org.) Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos*. Universidade do Minho, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento (NIGP), 2013.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

FONSECA, R.; SILVA, P.; SILVA, R. Acordo inter-juízes: O caso do coeficiente kappa. **Laboratório de Psicologia**, v.5, n.1, 2007.

FONTENELLE, M. C.; *et al.* Avaliações de risco em barragens: Estudo de caso da barragem Malcozinhado do Nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.14, n.1, 2018.

FRANCISCO, A.B. **A erosão periurbana em Rancharia-SP: a análise espaço-temporal e as propostas de recuperação da boçoroca do córrego do grito**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2017.

FREITAS, M. de S. **Geologia e recursos minerais da folha Riacho Queimadas SC. 24 V-A-I: Estado do Piauí**. Teresina: CPRM, 2017.

GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. **Geoscience Frontiers**, v.7, 2016.

GARCIA, R.M.; LEAL, A.C. Planejamento ambiental e gestão das águas: Estudo aplicado à bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, Sandovalina, São Paulo. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.8, n.2, 2012.

GARJULLI, R. Os recursos hídricos no semiárido. **Ciência e Cultura**, v.55, n.4, 2003.

GIL, M.M.L. **Análise de cenários de produção de sedimentos na relação oferta-demanda hídrica da barragem Bocaina - PI**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

GOMES, D.D.M. **Geoprocessamento aplicado a análise da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Jaibaras – Ceará**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

GONÇALVES, F.A.; *et al.* Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, 2006.

GUERRA, A.J.T.; *et al.* **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A.T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUERRA, J. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIMARÃES, L.J.R.; SANTOS, L.J.C. Levantamento das áreas potenciais à erosão laminar como suporte à detecção das áreas fonte ao assoreamento na barragem Piraquara. **Revista Eletrônica Geografar**, v.2, n.2, 2007.

HIDROWEB. ANA. Agência Nacional de Águas. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa_. Acesso em 20 de fev. de 2020.

HONDA, S. C. de A. L., *et al.* Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.7, n.1, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Censo Agropecuária**. 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 8 de mar. de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 de mar. de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 de mar. de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Estrutura territorial**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 15 de jan. de 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 de mar. de 2020.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em 3 de mar. de 2020.

IPEADATA. **PIB Municipal Anual**. 2017. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 8 de mar. de 2020.

ISSA, L. K.; *et al.* Mapping and Assessment of Water Erosion in the Khmiss Watershed (North Western Rif , Morocco). **Journal of Current Advances in Environmental Sciences**, v.2, n.4, 2014.

JACOMINE, P.K.T. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Piauí**. Recife: DPP, SUDENE/DRN, 1986.

KIEMSTEDT, H.; *et al.* Landscape Planning: Contents and Procedures. Hanover University. **Nature Conservation and Nuclear Safety**, 1998.

LAL, R. Erodibility and erosivity. *In*: LAL, R. **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p.141-160.

LANE, L.J.; *et al.* Development and application of modern soil erosion prediction technology. **Austr. Soil Res.**, v.30, p.893-912, 1992.

LEÃO, J. C. **Metodologia para outorga de uso das águas reservadas em regiões semi-áridas aplicada à bacia do Canindé-PI**. 2008. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2008.

LEMOES, J.R.; RODAL, M.J.N. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. **Acta Bot. Bras.** v.16, 2002.

LIMA, A.J.R.; NERY, J.T. Revisitando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão e a governançadas águas. *In*: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 17., 2017, Campinas. **Anais**.

LIMA, A.O.; *et al.* Barragens subterrâneas no semiárido brasileiro: Análise histórica e metodologias de construção. **Irriga**, v.18, n.2, 2013.

LIMA, G.A. de; *et al.* Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: Estudo de caso de Ribeirão Isidoro. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 7., 2016, Campina Grande. **Anais**.

LIMA, I.M. de M.F. Relevo piauiense: uma proposta de classificação. **Carta CEPRO**, v.12, n.2, 1987.

LU, D.; *et al.* Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. **Land degradation & development**, v.15, n.5, 2004.

MACÊDO, J.L. de. **Análise do sistema de abastecimento de água de São Raimundo Nonato – Piauí da Companhia de Saneamento Básico sob o foco do planejamento e controle da produção**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Paulista, São Paulo, 2016.

MACHADO, M.L.; *et al.* Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (Resultados parciais). *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais**.

MANNIGEL, A. R.; *et al.* Fator de Erodibilidade e Tolerância de Perda dos Solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, 2002.

MARCIANO, A.G.; BARBOSA, A.A.; SILVA, A.P.M. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.1, 2018.

MARENGO, J.A.; *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, Campina Grande, 2011.

MARTINS, F.; FREITAS, A.R. de. Identificação das unidades de paisagem na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras, em Irati-PR. **Revista Perspectiva**, v.38, n.143, 2014.

MAYNARD, I.F.N.; CRUZ, M.A.S.; GOMES, L.J. Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do Rio Japarutuba em Sergipe. **Ambiente & Sociedade**, v.20, n.2, 2017.

MELLO, C.R.; *et al.* Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.4, 2007.

MELO, E.B. de. **Análise da paisagem na bacia hidrográfica do rio São Miguel/AL por geotecnologias**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

MENDES, B. V. **Biodiversidade e desenvolvimento sustentável do Semiárido**. Fortaleza: SEMACE, 1997.

MIYAZAKI, L.C.P.; NUNES, J.O.R. Análise da vulnerabilidade socioambiental à ocupação do relevo na cidade de Presidente Prudente/SP. **Brazilian Geographical Journal**, v.9, n.2, 2018.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Iniciativas de Conservação**. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/iniciativas-de-conservacao>. Acesso em: 20 de mar. de 2020.

MMA. Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos. **Caderno da região hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: MMA, 2006.

MORAES, M.D.C. Do destino pastoril à vocação agrícola: modernização agrícola dos cerrados e inflexões discursivas nas narrativas mestras do Piauí. *In*: ELIAS, D.; PEQUENO, R. (org.) **Difusão do agronegócio e novas dinâmicas socioespaciais**. Fortaleza: BNB, 2006. p.172-209.

MORAIS, R.C.S. **Contribuição metodológica para a elaboração do diagnóstico físico-conservacionista (DFC) em bacias hidrográficas**: Aplicação na bacia do Alto Gurguéia, Piauí (Brasil). 2018. Tese (Doutorado apresentada ao programa de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MOREIRA, F.; CHAVES, M. S; LIMA, Z. M. C. **Apostila de Uso, conservação, erosão e poluição dos solos**. Natal: EDUFRN, 2009.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento e Metodologia de Aplicação**. Viçosa: ED UFV, 2011.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Oxford: National Soil Resources Institute, Cranfield University, Blackwell Science Ltd., 2005.

MOURA, M.M.; *et al.* Estimativa de Perda de Solo no Baixo São Francisco Sergipano. **Revista Scientia Agraria – AS**, v. 18, n. 2, 2017.

NASCIMENTO, F.R. do. Os recursos hídricos e o trópico semiárido no Brasil. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFF**, Rio de Janeiro, v.14, n.28, 2012.

NASCIMENTO, W.M. do; VILAÇA, M.G. **Bacia Hidrográfica: Planejamento e Gerenciamento**. Três Lagoas: 2008.

NEVES, M. de P. **Análise dos processos erosivos na bacia do Córrego do Meio – Município de São Pedro (SP):** Estudo do desencadeamento das erosões. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

NOGUEIRA, F.C.B.; LIMA, F.A.M. Classificação Climática de Thornthwaite dos Municípios de Pacoti e Guaramiranga, Ceará. **Ciência Agrônômica**, v.2, n.1/2, 1989.

OLIVEIRA, B.M.; *et al.* Mapeamento e análise multi-temporal da perda de solo por erosão na bacia de contribuição da represa do Rio Salinas, MG. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 17., 2015, João Pessoa. **Anais**.

OLIVEIRA, F.P.; *et al.* Tolerância de perda de solo por Erosão para o Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.8, n. 2, 2008.

OLIVEIRA, M.V.P.; MORAES, M.D.C. de. Povos, territórios e águas do sertão (etnografando memória e territorialidade no açude/barragem Algodões I, em Cocal-PI). *In: Encontro de Ciências Sociais do Norte e Nordeste e Pré-Asas Brasil*, 15., 2012, Teresina. **Anais**.

OLIVEIRA, W.F.; LEITE, M.E. Perda de solo por erosão hídrica em bacia hidrográfica: O caso da área de drenagem da barragem do Rio Juramento, no norte do estado de Minas Gerais. **Revista Caminhos de Geografia**, v.19, n.67, 2018.

PANACHUKI, E.; *et al.* Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.2, 2006.

PANIAGO, L. **Principais usos das barragens e suas aplicabilidades**. Instituto Minere, 2018. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/principais-usos-das-barragens-e-suas-aplicabilidades>. Acesso em: 01 de mai. de 2019.

PAZ, A.R. **Hidrologia Aplicada**. Data completa 2004. Notas de aula. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

PEREIRA JÚNIOR, J. de S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Biblioteca digital da câmara dos deputados, 2007.

PEREIRA NETO, M.C. Perspectivas da açudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na região do Seridó potiguar. **Sociedade & Natureza**, v.29, n.2, 2017.

PEREIRA, I.M.; *et al.* Use-history effects on structure and flora of caatinga. **BIOTROPICA**, v.35, n.2, 2003.

PEREIRA, M.R.D.; SANTOS, A.A. dos S.; SOUSA, S.B. de. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na previsão a erosão hídrica na bacia hidrográfica do Córrego Francisquinha – Porto Nacional TO. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína, v.6, n.10, 2017.

PEREIRA, S.S.; CURI, R.C. Meio ambiente, impacto ambiental e desenvolvimento sustentável: Conceituações teóricas sobre o despertar da consciência ambiental. **REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, v.2, n.4, 2012.

PITOMBEIRA, S.C. **A bacia hidrográfica como estratégia de planejamento territorial para o desenvolvimento sustentável do semiárido: A bacia do rio Jaguaribe, Ceará – Brasil**. 2015. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PNLT. Plano Nacional de Logística e Transportes. **Mapas e bases dos modos de transportes**. 2008. Disponível em: <http://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/63-bit/5124-bitpublic.html#maprodo>. Acesso em: 15 de jan. de 2020.

PORTO, M.F.A.; PORTO, R.L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, 2008.

PRUSKI, F.F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, 2009.

PULIDO, G.J.D. **Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território Brasileiro**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.

RABELO, D.R. **Análise espacial da razão de aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Seridó, RN-PB**. 2018. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Fortaleza, 2018.

RAMOS, M. **Gestão de recursos hídricos e cobrança pelo uso da água**. Fundação Getúlio Vargas, EBAP, 2007.

REBOUÇAS, A.C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, v.11, n.29, 1997.

REGHINI, F.L.; CAVICHIOLI, F.A. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Interface Tecnológica**, v.17, n.1, 2020.

RENARD, K.G., *et al.* **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: US Department of Agriculture, DC, 1997.

RUHE, R.V. **Geomorphology: geomorphic processes and surficial geology**. Boston: Houghton Mifflin Company, 1975.

SALGUEIRO, J.H.P.B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: Estudo de caso na bacia do rio Ipojuca em Pernambuco**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SALIS, H.H.C. da; COSTA, A.M. da; VIANA, J.H.M. Estimativa da perda anual de solos na bacia hidrográfica do córrego Marinheiro, Sete Lagoas - MG, por meio da RUSLE. **Boletim de Geografia**, v.37, n.1, 2019.

SAMIZAVA, T.M. **SIG e sensoriamento remoto aplicado ao estudo dos processos de inundação e mapeamento da cobertura vegetal na planície fluvial do alto do rio Paraná**. Presidente Prudente: UNESP, 2009.

SANTOS, H.G. dos; *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, L.F.M. dos. **SIG e álgebra de mapas na elaboração de um mapa de potencial de erosão em áreas de silvicultura**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

SANTOS, R.F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SEMAR. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí – PERHPI**. Relatório Executivo. Teresina: 2010.

SEMAR. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Segurança de barragens: Levantamento da documentação existente**. Teresina: 2018.

SILVA, A.M. da. **Índice de erosividade e sua relação com a pluviometria e coeficiente de chuva em Juazeiro (BA)**. São Paulo (unpublished): 2001.

SILVA, A.M. da. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, 2004.

SILVA, F.H.B.B. da. **Método de determinação do escoamento superficial de bacias hidrográficas a partir de levantamentos pedológicos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2000.

SILVA, M.S.L. da. **Estudos da erosão**. Petrolina: Ministério da agricultura, do abastecimento e da reforma agrária, 1995.

SILVA, P.C.G. da; *et al.* Caracterização do semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In*: SA, I.B.; SILVA, P.C.G. da. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: EMBRAPA Semiárido, 2010.

SILVA, R.M.A. da. **Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: Transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento.** 2006. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, T.P.; *et al.* Modeling of water erosion in a sub-basin in Rio Grande do Sul using RUSLE model. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.28, 2020.

SILVA, V.R. **Análise sócio-ambiental da bacia do rio Biaguaçu-SC: Subsídios ao planejamento e ordenamento territorial.** 2007. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e Bacia Hidrográfica. *In*: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Rio Grande do Sul: Editora da UFRGS, 2013. Cap. 2. p. 34–51.

SOUSA, V. V. de. **Piauí: Apossamento, integração e desenvolvimento (1684-1887).** Sem data. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/113/o/43_ValfridoSousa_PiauiApossamentoIntegracao.pdf. Acesso em: 10 de mar. de 2020.

SOUZA, M. de; *et al.* Governança de recursos comuns: bacias hidrográficas transfronteiriças. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v.57, n.2, 2014.

SPARACINO, J.; ARGIBAY, D.S.; ESPINDOLA, G.M. de. **Long-term (35 years) rainy and dry season characterization in semiarid northeastern Brasil.** Unpublished manuscript, sem data.

STEIN, D.P.; *et al.* Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na bacia do Peixe Paranapanema. *In*: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 1987, São Paulo. **Anais.**

STEPHENS, T. **Manual sobre pequenas barragens de terra: Guia para localização, projeto e construção.** Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e a agricultura, 2011.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Terra: feições ilustradas.** 3.ed. Porto Alegre: Editora da universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

TEIXEIRA, C.A. **Apostila de Hidrologia Aplicada.** Data completa 2010. Notas de aula. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The Water Balance - Publications in Climatology.** N. Jersey: Centerton, v.VIII, n.1, 1955.

TORNELLO, K.C.; *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, 2006.

TRAVASSOS, I.S.; SOUZA, B.I. de; SILVA, A.B. da. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino brasileiro. **Okara: Geografia em debate**, v.7, n.1, 2013.

TUNDISI, J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. **RIMA/III**, São Carlos, 2003.

VALLE, I.C.; FRANCELINO, M.R.; PINHEIRO, H.S.K. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.2, 2016.

VILAÇA, M. F. *et al.* Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento e Gestão: O Estudo de Caso do Ribeirão Conquista no Município de Itaguara – MG. *In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 13., 2009, Viçosa. **Anais**.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. **Agriculture Handbook**, n.537, 62p, 1978.

WU, W.; *et al.* A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Shijiazhuang over the past three decades. **Landscape and Urban Planning**, v.134, 2015.

ANEXOS

ANEXO A**PRECIPITAÇÕES REGISTRADAS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
UTILIZADOS COM SÉRIE HISTÓRICA DE 1964 A 1994**

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Açude Caracol

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1964	336	218,3	85,2	41,4	0	0	0	11,2	0	51	58	55,2	856,3
1965	189,2	51,2	276,1	207,3	6	0	0	0	0	27,5	157,7	52,8	967,8
1966	258	136	79,7	89,3	1	7,2	0	0	1,7	30,1	184,8	204,7	992,5
1967	40,5	129,8	184,3	84,9	0	0	0	0	0	48	110,1	113,2	710,8
1968	33,1	219,4	225,1	41,3	0	0	0	0	0	50,4	163,5	69,4	802,2
1969	124,5	60,8	104,8	0	6,2	0	0	0	0	50	48,7	143,3	538,3
1970	262,6	67,6	83,6	12,8	0	0	0	0	0	65,8	152,6	124,3	769,3
1971	85,6	76	54	67,7	0	0	0	0	0	29	87,8	108,8	508,9
1972	77,8	90,5	189,4	36,5	0	0	0	0	0	3	177,7	143,2	718,1
1973	60,3	113,9	177,6	98,3	22,6	0	0	0	60,6	64,7	94,6	99,2	791,8
1974	232	95,5	241,1	320,2	40,1	0	0	0	0	64,5	82,8	75	1151,2
1975	95,2	90,3	153,6	146,2	14,2	0	0	1,1	0	87,3	62,8	139,2	789,9
1976	38,2	100,3	59,4	72,6	0	0	0	0	17,2	188,4	0	35,2	511,3
1977	128,9	15,3	142,7	187,5	17,8	0,8	0	0	16,6	11,4	108,1	289,8	918,9
1978	107,3	123,2	177,2	84,1	49,2	0	0	0	0	26	55,3	105,5	727,8
1979	197,3	265,8	84,8	180,8	1,3	0	0,5	0	0	0	204,7	106,8	1042
1980	284	337,5	46,6	17,8	0	0	0	0	5,6	4,9	226,3	173,6	1096,3
1981	128,3	9,8	286,4	58,6	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0	483,7
1982	193,6	89,2	104,6	54,3	0	0	0	0	57,2	37,1	3,3	73,4	612,7
1983	231,9	103,3	49,8	84	0	0	3,2	0	0	11,8	143,6	164,2	791,8
1984	58,8	46,4	157,4	190,6	0	0	0	0	19,7	52,8	8	39,1	572,8
1985	333,6	78,5	174,8	121,7	26,7	17,9	0	1	0	136,5	167,3	300,4	1358,4
1986	123,1	85,2	0	0	4,5	0	0	0	0	0	52,9	0	265,7
1987	0	0	0	0	12,6	0	0	0	6	0	0	0	18,6
1988	72,7	147,5	0	67,5	0	0	0	0	0	0	0	0	287,7
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	351,8	60,9	179,4	8,8	23,8	0	0	0	0	0	41,9	110,3	776,9
1992	315,7	191	1,5	23,9	10	0	0	0	6	4,3	154	124,9	831,3
1993	64,7	66,1	87,5	123,2	3,1	0	0	0	42,1	133,6	87,6	0	607,9
1994	192,8	120,9	158,5	66,8	0	0	0	0	0	0	37,1	55,8	631,9
Média	148,95	102,91	115	80,26	7,719	0,835	0,12	0,44	7,506	38	86,168	93,784	681,703
D. Pad.	108,23	78,144	84,64	75,6	12,72	3,422	0,58	2,01	16,37	46,59	70,622	79,325	325,565
C. V. (%)	73%	76%	74%	94%	165%	410%	485%	456%	218%	123%	82%	85%	48%

Fonte: Hidroweb – ANA.

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Campestre

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1964	634,2	437,6	149,5	170,7	28,2	23,7	0	3	0	32,8	106,9	33	1620
1965	80,1	33,7	179,7	226,2	0	0	0	0	0	25,4	41	47,5	633,6
1966	40,2	140,7	201,2	142,6	4,1	0	0	0	0	37,2	102,2	66,9	735,1
1967	47,4	134,8	162,6	112,8	19,8	0	0	0	0	21,5	174,1	67,7	740,7
1968	3,3	181	185,2	4,8	0	0	0	0	0	74,6	117,3	81,5	647,7
1969	169,4	103,1	295,6	2,9	0	9	0	0	0	14,8	28,4	135,3	758,5
1970	165,2	68,6	108,4	14	0	0	0	0	0	43	86,1	4,1	489,4
1971	25,1	78,4	185,3	198,8	2,7	0	0	0	0	59,1	134,9	24,4	708,7
1972	83,4	170,1	92,6	37,9	33,4	9,1	0	0	2,7	19,4	194,2	170,2	813
1973	23	112,2	176,3	53	34,8	0	0	0	0	19	79,5	88,8	586,6
1974	126,7	156,9	315,1	197,4	46,4	0	0	0	0	40,1	136,1	40,7	1059
1975	73,3	198,5	93,5	116,5	0	0	49,3	0	0	36	78,8	62,1	708
1976	26,7	227,8	26,7	0	3,4	0	0	0	21,2	66,7	174	19,1	565,6
1977	324	25,6	57,5	243,7	8	4,3	0	0	19,5	18,5	0	271	972,1
1978	73	237,2	182,5	99,4	66,3	10,9	0	0	0	12,4	151,9	64,4	898
1979	199	133,8	113,4	67,2	0	0	0	0	0	70,3	203	131,7	918,4
1980	182,4	305,8	30,4	21,8	0	0	0	0	0	22	148,4	74,3	785,1
1981	57,4	0	265,7	148,7	0	0	0	0	0	0	34,8	13,5	520,1
1982	80,4	13,9	81,4	30	0	0	0	0	21	18,8	0	88,6	334,1
1983	111,9	72,6	33,8	110	0	0	0	0	0	0	145,3	12,8	486,4
1984	64,8	91,4	202	54,6	0	0	0	0	6,6	56,1	0	112,6	588,1
1985	102,2	111,5	103,5	228,1	22	13	0	0	0	171	83	334,2	1169
1986	50,6	73,8	266,6	88,6	0	0	0	3	0	28,4	0	67	578
1987	116,2	4	184,9	56,2	16,4	0	0	0	16,8	27	57,7	150,6	629,8
1988	63,6	246	263,4	86,4	0	0	0	0	0	43,8	6,8	215,1	925,1
1989	62	151	144,9	33	18,4	0	0	0	0	20	0	0	429,3
1990	15,8	148,8	0	60	15	0	0	0	0	80	57,4	27	404
1991	85,4	98,2	82,6	24	0	0	0	0	0	0	139	72,9	502,1
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	184	99,3	156,2	15,6	0	0	35,2	0	0	0	14,4	120,4	625,1
Média	105,5	124,4	140,0	85,3	10,3	2,3	2,7	0,2	2,8	34,1	80,5	83,8	671,9
D. Pad.	121,0	97,9	88,9	75,9	16,5	5,4	10,7	0,7	6,7	34,4	66,8	79,6	312,0
C. V. (%)	115%	79%	63%	89%	161%	239%	393%	387%	237%	101%	83%	95%	46%

Fonte: Hidroweb – ANA.

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico São Raimundo Nonato

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
1964	299,6	199,3	171,5	145,4	0	0	0	0	0	37,5	93,2	113,5	1060
1965	87,5	58,9	256,1	191,5	0	5	0	0	0	48,5	70,8	23	741,3
1966	124,5	248,9	52,5	190,3	3,2	0	0	0	0	4,8	148,2	66,3	838,7
1967	70,9	228,5	180,9	138,5	11	25,5	1	0	5,6	0,5	132,3	163,9	958,6
1968	33,2	324,8	243,1	42,8	0	0	0	0	0	42,5	97,3	85,4	869,1
1969	150,9	70,5	242,2	2,8	8,2	4	0	0	0	13,5	48	148,5	688,6
1970	82,3	74,2	107,3	1	0	0	0	0	0	40,6	133,5	48,6	487,5
1971	62,5	61,4	129,2	189	0	1,2	0	0	6,2	28,3	72	47,5	597,3
1972	101	90	87,5	150	20,5	3,5	0	0	35	12	207,5	168,5	875,5
1973	53	133	82,5	75	45	0	11,5	0	1	85	32,7	115,3	634
1974	90,8	211,9	365	230,1	27	4	1	1	0	22,5	157	158,9	1269,2
1975	124	113	208,6	150	14,5	0	26	0	0	64,5	25	37,5	763,1
1976	108	158,1	50,5	24,7	3,5	0	0	0	40,5	145	161	58,7	749,5
1977	208	16,5	30	107,1	7,1	3,5	0	0	43	3	79,6	247,3	745,1
1978	117	74,2	259,4	43,9	65,6	12,9	13	0	0	0	88,7	100,9	775,6
1979	131,9	161,2	65,4	90,5	2,5	0	0	0	0	52	68,5	127,2	699,2
1980	194,3	324,2	26,3	64	0	0	0	0	2,5	2,5	47,5	249	910,3
1981	91	6,5	177,5	28,5	0	0	0	11,2	0	10	87,1	14,1	425,9
1982	76,8	45,9	181,8	88	0	0	0	0	0	14,2	0	0	406,7
1983	0	21,7	22,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,2
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	19	0	97,7	56	220,2	392,9
1986	76,7	182	215,4	31	0	0	0	0	0	38	0	111,8	654,9
1987	39,3	0	199	31	0	0	0	0	0	7	73,2	114	463,5
1988	96	61	106,1	132,8	0	0	0	0	0	0	0	205,3	601,2
1989	17	80	126	50	67	0	0	0	0	0	0	103	443
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	287	91	205	30,5	0	0	0	0	0	0	76	123	812,5
1992	329,5	89	2	3	25	0	0	0	0	5	180	147,5	781
1993	74,5	54	85	25	8	0	0	0	0	103	120	178,5	647,5
1994	259	245	118,5	79	0	0	0	0	0	0	26,5	65	793
Média	109,2	110,5	128,9	75,3	9,9	1,9	1,7	1,0	4,3	28,3	73,6	104,6	649,3
D. Pad.	89,0	94,7	94,8	69,1	18,3	5,1	5,4	3,9	11,9	36,9	59,4	73,2	286,9
C. V. (%)	81%	86%	74%	92%	184%	266%	322%	387%	275%	131%	81%	70%	44%

Fonte: Hidroweb – ANA.

ANEXO B**PRECIPITAÇÕES REGISTRADAS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
UTILIZADOS COM SÉRIE HISTÓRICA DE 2005 A 2018**

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Baluarte

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
2005	115,7	131,7	246,3	102,5	59,7	0	0	0	10	0	92,9	75,1	833,9
2006	15,8	131,4	127,2	149,1	13,7	0	0	0	0	105,5	259,5	76,9	879,1
2007	42,5	224,2	5,4	17,4	0	0	0	0	0	0	54,6	156,1	500,2
2008	73,5	56,8	409,2	75,2	0	0	0	0	0	0	53,6	179,1	847,4
2009	117,5	167,6	115,1	143,7	0	8	0	0	0	196	31,2	163,5	942,6
2010	134,6	76,7	109,1	142,7	0	0	0	0	0	79,3	10,5	137,8	690,7
2011	177,8	164,6	327	28,6	13,3	0	0	0	0	78	116,2	52,4	957,9
2012	77,6	63,4	20,5	0	2,3	0	0	0	0	0,6	161,4	55,4	381,2
2013	187,2	0	67,1	10,7	35,7	1,3	0	0	0	31	38,4	243,1	614,5
2014	0	88,1	144	123	3,1	0	0	0	1,1	0	89,3	214,4	663
2015	34,6	92,8	91,5	60	0	0	0	0	0	4	43,4	26	352,3
2016	357,5	46,9	44,5	19	0	0	0	0	0	31,7	120	89,2	708,8
2017	92,2	109	115,8	51	0	0	0	0	0	0	109,8	47,3	525,1
2018	92,2	101,2	92,1	24,3	0	0	0	0	11,9	32,7	106,5	176,2	637,1
Média	108,5	103,9	136,8	67,7	9,1	0,7	0,0	0,0	1,6	39,9	92,0	120,9	681,0
D. Pad.	90,6	57,4	115,2	54,7	17,7	2,1	0,0	0,0	4,0	57,3	64,0	69,0	195,7
C. V. (%)	84%	55%	84%	81%	193%	322%	0%	0%	242%	144%	70%	57%	29%

Fonte: Hidroweb – ANA.

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Campo Alegre

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
2005	194,2	273,5	284,7	81,1	5,3	0	0	0	0	0	103	42,9	984,6
2006	0	110,2	152,9	40,1	4,7	0,1	0	0	0	28,1	75	2,7	413,8
2007	0	93,9	0	0	0	0	0	0	0	0	77,2	26	197,1
2008	4,3	2,1	169	5	2,2	0	0	0	0,6	1	93,3	34,4	311,9
2009	214,7	115,7	239,3	89,2	0	7,8	0	0	0	30,2	0	181,5	878,4
2010	31,3	37,6	128,2	101	0	3,3	0	0	0	33,5	0	160,2	495,1
2011	83,2	463,4	14,6	149,3	1,2	0	0	0	0	53	14,5	74,4	853,6
2012	5	12,5	14,2	0	2,7	0	0	0	0	0	64,4	29,3	128,1
2013	105,7	0	95,4	61,3	22,6	0	0	0	0	37,4	16,6	202,9	541,9
2014	0	41,3	199,8	98,7	8,2	0	0	0	0,9	0	152	108	608,4
2015	12	96,8	42,8	73,7	0	0	0	0	0	0	48,6	6,6	280,5
2016	240,9	12,7	0	0	0	0	0	0	0	52,6	123	33	461,7
2017	8,6	121,1	142	33,3	0	0	0	0	0	0	136	42	482,5
2018	195,2	152,9	249,2	45	0	0	0	0	0	96,6	111	125	974,5
Média	78,2	109,6	123,7	55,6	3,4	0,8	0,0	0,0	0,1	23,7	72,3	76,4	543,7
D. Pad.	93,5	126,1	98,4	46,0	6,1	2,2	0,0	0,0	0,3	29,4	50,5	67,1	282,5
C. V. (%)	120%	115%	80%	83%	182%	275%	0%	0%	260%	124%	70%	88%	52%

Fonte: Hidroweb – ANA.

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico Remanso

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
2005	144,7	62,8	102,3	64,9	19,2	7,1	0	0	0	1,1	24,7	36,4	463,2
2006	0	164,9	144,2	51,1	0	0	0	0	0	43	38,6	37	478,8
2007	34,8	283,5	0	60	0	0	0	0	0	0	66,2	116,3	560,8
2008	33	0	145,1	210,5	9,8	0	0	0	0	0	32,7	83,5	514,6
2009	200,2	105,8	165,5	238,1	0	0	0	0	0	129,9	6	43	888,5
2010	0	0	0	0	0	0	3,2	0	0	33,3	0	155	191,5
2011	42,7	135,9	233	26,8	3,5	0	0	0	0	47,5	72,1	13	574,5
2012	33,8	24,1	17	0	0	0	0	0	0	0	104	21,2	200,1
2013	70,4	0	53	64,8	0	0	2,1	0	0	3	58,4	216,6	468,3
2014	0	62,9	80,7	134,2	0	0	0	0	0	0	57,5	149,8	485,1
2015	0	49,5	52,9	84,2	0	0	0	0	0	0	0	7,6	194,2
2016	397,3	70,7	18,6	0	7,5	0	0	0	9,8	5	113,3	8,6	630,8
2017	1,9	99	100	81	0	0	0	0	0	0	42,4	20,5	344,8
2018	24,5	235,4	221,5	80,6	0	0	0	0	0	50	58	140	810
Média	70,2	92,5	95,3	78,3	2,9	0,5	0,4	0,0	0,7	22,3	48,1	74,9	486,1
D. Pad.	111,2	87,1	77,8	72,7	5,7	1,9	1,0	0,0	2,6	36,8	34,9	68,3	210,6
C. V. (%)	158%	94%	82%	93%	199%	374%	261%	0%	374%	165%	73%	91%	43%

Fonte: Hidroweb – ANA.

Precipitações mensais (mm) registradas no posto pluviométrico São Raimundo Nonato

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
2005	85,9	103,4	67	27,5	27,2	7,3	0	0	0	0	44,9	50,7	413,9
2006	0	144,5	68	58,5	11,5	0	0	0	0	107,3	37,1	63,3	490,2
2007	7	173,9	5,3	29,5	0	0	0	0	0	0	23	68,5	307,2
2008	53,6	85,9	235,3	168	9,7	0	0	0	0	0	124,3	23,2	700
2009	152,8	148,3	105,3	237,2	25,8	0	0	0	0	80	0	164,3	913,7
2010	98	6	158,5	167,2	30,5	30,6	0	0	0	32	27,2	206,2	756,2
2011	62,9	128,3	216,9	94,4	5,4	0	0	1,8	0	45,2	20,6	37,1	612,6
2012	18,5	41,1	28,6	0	0	0	0	0	0	0	59	14,6	161,8
2013	109,5	0	40	85,2	0	0	0,7	0	0	12,3	48,9	239,4	536
2014	14,5	84	158,1	55,1	0	0	0	0	0	0	230,3	172,9	714,9
2015	13,8	106,1	118,1	91,1	2,8	0	0	0	0	16,3	68,1	0	416,3
2016	272	6,3	18,9	1,5	0	0	0	0	9,6	38,5	44,7	82,2	473,7
2017	12,4	170,3	37,7	12,7	17	0	0	0	0	0	125,5	110,1	485,7
2018	42,9	165,2	197,8	14,5	0	0	0	0	1,9	40,5	68,5	97,7	629
Média	67,4	97,4	104,0	74,5	9,3	2,7	0,1	0,1	0,8	26,6	65,9	95,0	543,7
D. Pad.	74,6	62,8	77,8	72,2	11,4	8,3	0,2	0,5	2,6	33,5	59,3	74,5	194,9
C. V. (%)	111%	64%	75%	97%	123%	305%	374%	374%	314%	126%	90%	78%	36%

Fonte: Hidroweb – ANA.