



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM GEOGRAFIA**

**MUDANÇA NA COBERTURA DA TERRA E AVALIAÇÃO
DOS PROCESSOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS DA
BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ-PB**

Irla Gabriele Nunes Henriques

João Pessoa – PB

Novembro de 2017

IRLA GABRIELE NUNES HENRIQUES

MUDANÇA NA COBERTURA DA TERRA E AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS
HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DA BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ-PB

**Monografia apresentada à
Coordenação do Curso de Geografia
da Universidade Federal da Paraíba,
para obtenção do grau de Bacharel em
Geografia.**

Orientador: Prof. Dr. Richarde Marques da Silva

João Pessoa – PB
Novembro de 2017

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

H519m Henriques, Irla Gabriele Nunes.

Mudança da cobertura da terra e avaliação dos processos hidrossedimentológicos da bacia representativa de Sumé / Irla Gabriele Nunes Henriques. - João Pessoa, 2017.
63 f. : il.

Orientação: Richarde Marques da Silva.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCEN.

1. Semiárido - Sumé, Paraíba. 2. Modelagem hidrossedimentológica. 3. Modelo SWAT. I. Silva, Richarde Marques da. II. Título.

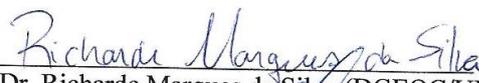
UFPB/BC

IRLA GABRIELE NUNES HENRIQUES

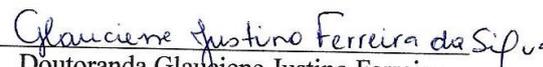
MUDANÇA DA COBERTURA DA TERRA E AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS
HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DA BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ

Aprovada em 10/11/2017

Banca Examinadora


Prof. Dr. Richarde Marques da Silva (DGEOC/UFPB)
Orientador


Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana (DGEOC/UFPB)
Examinador interno


Doutoranda Glauciene Justino Ferreira
Examinadora Externa

NOTA: 9,0

Dedico este trabalho ao meu Pai, que mesmo não estando mais neste plano, esteve comigo durante toda minha trajetória. A minha Mãe, por tudo que é em minha vida, à toda minha família por todo suporte e amor e à todos que contribuíram na minha caminhada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus, por me conceder à vida e pelas as pessoas que Ele escolheu para fazer parte da minha vida.

Agradeço ao meus Pais, Inácio Henriques de Sousa (*In Memoriam*) e Girleide Nunes Henriques. Por tudo que me ensinaram, pelo amor incondicional, pelo apoio e por acreditar em mim, mais do que eu mesma. A vocês, todo meu amor, eternamente!

Aos meus irmãos Íkallo George e Ingrid Gisely, por ser os irmãos mais velhos mais legais do mundo, por cuidar sempre de mim, por resolver meus problemas e pela nossa união. Que permaneça assim, Amo vocês!

Agradeço aos meus avós Olivia e Chico, Ana e Deodato (*In memoriam*), pelo amor, cuidado e ensinamento ao longo da minha vida, amo vocês. E a minha Vó “do coração” Neta, por tudo que fez por mim nesses quatros anos, por ceder muito mais do que sua casa, mas sim, o seu coração, obrigada à você e toda sua família. Amo vocês!

Gratidão as minhas tias, por tudo que fizeram e fazem na minha vida, tenho muita sorte em ter vocês. Tia Terezinha, Tia Lena, Tia Amor, Tia Tatá e Tia Deda. Amo muito vocês!

Aos meus primos e primas por me mostrar que é possível conviver e amar nas diferenças. Amo cada um de vocês meus Nunes. E em especial agradeço ao meu primo Jefferson pelas caronas à universidade, sempre quando eu precisava. Obrigada!

Agradeço, ao meu orientador Richarde Marques por todos os ensinamentos, paciência e por estar sempre disposto a esclarecer minhas dúvidas. Obrigada! Agradeço também a todos os professores que participaram da minha vida acadêmica por todo conhecimento transmitido, Camila Cunico, Emília Moreira, Bartolomeu, Marcelo Oliveira, Anieres, Maria Franco, Pedro, Eduardo Viana, Andrea Sales, Jonas Otaviano, Fátima Rodrigues e Sinval Passos. Obrigada!

Agradeço aos meus amigos e colegas do Leppan, por todo conhecimento compartilhado. Em especial a José Carlos e Nádja por sempre esclarecer as minhas dúvidas e pela ajuda com a pesquisa. Obrigada!

Agradeço a minha amiga de infância Marcella, pela amizade de tantos anos e por fazer dos nossos momentos juntas tão divertidos. Quero você sempre na minha vida, amo você!

Agradeço aos meus amigos que conquistei na universidade, a convivência com vocês ajudou a amenizar a saudade que eu sentia da minha família e da minha querida cidade de Patos-PB. Vocês foram o melhor presente que eu ganhei. Em especial agradeço a Julyanne (Jú) por ser minha “parceirinha” de todos os trabalhos, aulas e horas no laboratório, mesmo agora distantes, tenho certeza que nossa amizade será para sempre, amo tu “mermã”! Agradeço a Nádja (a ariana mais legal que eu conheço) pela amizade e por ser uma amiga tão especial e fiel, para os bons momentos e terríveis também, obrigada amiga por todo apoio nessa pesquisa e em toda minha vida acadêmica, amo você! Agradeço a Rose, por todo apoio, risadas e por ser uma amiga tão especial, grudei em você desde a matrícula e não desgrudei mais. Também agradeço ao meu amigo Charles, pelas conversas na volta pra casa, pela parceria e amizade. Obrigada! Amo vocês!

Enfim, agradeço a todos que contribuíram para esse momento tão especial da minha vida. Obrigada!

RESUMO

A erosão é um fenômeno que afeta naturalmente e socialmente o ambiente. O estudo dos processos erosivos gerados pela ação da água pode ser denominado de hidrossedimentologia. Diversas são as técnicas e formas desenvolvidas para analisar os processos de vazão e erosão dos solos. Este trabalho teve como objetivo analisar os processos hidrossedimentológicos na Bacia Representativa de Sumé com auxílio de modelagem associada a SIG e o comportamento desses processos em diferentes cenários de uso e ocupação da terra. Para fazer a análise dos processos hidrossedimentológicos da Bacia Representativa de Sumé foi utilizada a modelagem hidrológica espacial, técnica que acoplada a Sistema de Informações Geográficas propicia a simulação integrada de componentes do ciclo hidrológico. Para isso foi usado o modelo hidrossedimentológico SWAT e com isso, foi necessária a utilização de alguns dados que caracterizassem a região, como dados climatológicos, dados de vazão e dados cartográficos como, mapa de uso e ocupação da terra, de tipo de solo e o Modelo Digital de Elevação. Após a modelagem para os dois anos de estudo (1984 e 2015), foi utilizado o período de vazão contínuo mais longo, que foi do dia 27 de Março de 1977 a 13 de Janeiro de 1978, coletado da sub-bacia Gangorra, para fazer a calibração no SWAT-CUP, para obter os melhores valores para os parâmetros físicos do SWAT. Após a calibração foram obtidos os valores de Nash-Sutcliffe = 0,63 e $R^2 = 0,93$, o que podem ser considerados aceitáveis. A vazão média observada foi de 0,36 m³/s e o estimado foi de 0,27 m³/s. Para analisar a influência do uso de ocupação da terra foram simulados dois cenários: (a) uso da terra do ano de 1984, e (b) uso da terra do ano de 2015. Para o escoamento superficial, o SWAT estimou para o uso da terra do ano de 1984 foi de 0,034 m³/s e de 0,143 m³/s para o ano de 2015, ocorrendo um aumento de 315%. A produção de sedimentos que o SWAT estimou para o uso da terra do ano de 1984 foi de 0,63 kg/ha.ano e de 2,55 kg/ha.ano para o ano de 2015, ocorrendo um aumento de 307%. A partir do estudo, constatou-se que as modificações ocasionadas por ações antrópicas influenciaram na dinâmica do escoamento superficial e da produção de sedimentos na bacia. Ressalta-se ainda a importância da utilização dos Sistemas de Informações Geográficas para a realização de estudos dessa natureza, contribuindo com medidas que visem o planejamento e a gestão ambiental de bacias da região semiárida.

Palavras-chave: Semiárido, modelagem hidrossedimentológica, modelo SWAT.

ABSTRACT

Erosion is a phenomenon that affects the environment both ways naturally and socially. The study of erosive processes generated by the action of water can be called hydrosedimentology. There are several techniques and forms developed aiming to assess soil flow and erosion processes. The objective of this work was to analyze the hydrosedimentological processes in the Sumé Representative Basin with the help of modeling associated to GIS and the behavior of these processes in different scenarios of land use and occupation. In order to analyze the hydrosedimentological processes of the Representative watershed from *Sumé* city, a modeling technique was used, which coupled with a Geographic Information System, can provide a simulation of the reality making possible several studies. In order to do make this possible, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used, being then necessary to use some data that characterize the region, such as climatological data, flow data and cartographic data such as land use map, soil type and the Digital Elevation Model. After the modeling of the two-years study, the longest continuous flow period was then used, from March 27th, 1977 to January 13th, 1978. It was collected from the *Gangorra* sub-watershed to calibrate the SWAT-CUP and get the best values for the SWAT parameters. After calibration, a Nash-Sutcliffe value = 0.63 and $R^2 = 0.93$ were obtained, which can be considered acceptable. The average streamflow observed was 0.36 m³/s and the estimated was 0.27 m³/s. In order to investigate the influence of land use, two scenarios were simulated, as follows: (a) land use over the year of 1984, and (b) land use over the year of 2015. For the surface streamflow, the SWAT model estimated 0.034m³/s for the use of land during 1984 and 0.143 m³/s during 2015, then showing a 315% growth rate. The SWAT model estimated a sediment yield of 0.63 kg/ha.year for 1984 and 2.55 kg/ha.year for 2015, then showing a 307% growth rate. Therefore, it was understood that the changes caused by anthropic actions have influenced both the surface streamflow dynamics and sediment yield in the watershed. It is also important to highlight the need of using the Geographic Information Systems when carrying out studies with this approach, thus, contributing with measures that aim at planning and environmental management of the watersheds from the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Semi-arid region, city, hydrosedimentological modeling, SWAT model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Localização da Bacia Representativa de Sumé (BRS), no Estado da Paraíba.....	20
Figura 2- Precipitação da BRS para o período de 1976 a 1979.	22
Figura 3- Representação do ciclo hidrológico.....	25
Figura 4- Esquema com as etapas do estudo.....	30
Figura 5-Tipos de solos existentes na BRS.....	31
Figura 6- Imagens de satélites da BRS para: (A) 1984 e (B) 2015.	33
Figura 7- Fluxograma com as etapas da modelagem.	39
Figura 8- Mapa de declividade da Bacia Representativa de Sumé-PB.	42
Figura 9- Distribuição do uso e ocupação da terra da BRS: A) para o ano de 1984 e B) para o ano de 2015.	47
Figura 10- Espacialização da Precipitação na BRS, no período de 1976 a 1979.....	48
Figura 11- Gráfico com a comparação da vazão observada e a vazão simulada (sem calibração). 49	
Figura 12- Gráfico com a comparação a vazão observa e a vazão simulada após a calibração..	51
Figura 13- Hidrograma com a comparação entre o escoamento com base no uso de 1984 e o escoamento com base no uso de 2015.....	52
Figura 14- Espacialização do escoamento superficial, nos dois período em estudo, Mapa A) com base no uso de 1984 e Mapa B) com base no uso de 2015	53
Figura 15- Sedigrama com a comparação entre a produção de sedimento com base no uso de 1984 e a produção com base no uso de 2015.	55
Figura 16- Espacialização da produção de sedimentos na BRS, nos dois períodos em estudo, Mapa A) com base no uso de 1984 e Mapa B) com base no uso de 2015.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de solos existentes na BRS	31
Tabela 2- Descrição dos parâmetros climáticos utilizados no gerador climático.....	34
Tabela 3- Descrição dos postos utilizados na pesquisa.	35
Tabela 4- Associação das classes de uso do solo da Bacia Representativa de Sumé com as classes existentes no banco de dados do SWAT.	41
Tabela 5- Descrição dos perfis da Embrapa utilizados na pesquisa.....	41
Tabela 6- Parâmetros utilizados para a calibração do SWAT.....	44
Tabela 7- Uso e ocupação da terra da BRS para os anos de 1984 e 2015.....	46
Tabela 8- Tabela com a variação dos testes estatísticos para as simulações.....	49

LISTA DE SIGLAS

ARS- *Agricultural Research Service*
BRS- *Bacia Representativa de Sumé*
CFARM- *Carbon Cycling Routine*
CN- *Curva Número*
CPTEC/INPE- *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do INPE*
CREAMS- *Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System*
EMBRAPA- *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*
EPIC- *Erosion-Productivity Impact Calculator*
ESRI- *Environmental Systems Research Institute*
GLEAMS- *Groundwater Loading Effects on Agricultural Management*
HRU – *Hidrologic Response Units*
IBGE- *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*
INPE – *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*
INMET- *Instituto Nacional de Meteorologia*
MDE- *Modelo digital de elevação*
MUSLE – *Modified Universal Soil Loss Equation*
ORSTOM- *Instituto Francês de Pesquisa Científica para o Desenvolvimento e
Cooperação*
PTDRS- *Plano Territorial Desenvolvimento Rural Sustentável*
ROTO- *Routing Outputs to Outlets*
SCS- *Soil Conservation Service*
SIG- *Sistema de Informação Geográfica*
SIGSAB- *Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido
Brasileiro*
SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*
SUDENE- *Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.*
SWAT- *Soil and Water Assessment Tool*
SWAT-CUP- *SWAT Calibration and Uncertainty Programs*
SWRRB- *Simulator for Water Resources in Rural Basins*
USDA- *United States Department of Agriculture*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.2 Justificativa	17
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Geral	18
1.3.2 Específicos	19
2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ.....	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
3.1. A abordagem geossistêmica na análise da paisagem.....	23
3.2 A Bacia hidrográfica e os processos hidrossedimentológicos	24
3.3 O Fenômeno da erosão e a influência da vegetação no semiárido nordestino.....	26
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
4.1. Dados utilizados.....	29
4.1.1 Tipos de solo	30
4.1.2 Uso e ocupação da terra	32
4.1.3. Modelo Digital de Elevação (MDE)	33
4.1.4. Dados climáticos e hidrológicos	34
4.2. Breve descrição do modelo SWAT.....	35
4.2.1-Equações do SWAT utilizadas na pesquisa.	36
4.2.2-Balanco Hídrico	37
4.2.3- Escoamento Superficial.....	37
4.2.4-Produção de Sedimentos	38
4.3. Construção do banco de dados de entrada no modelo	39
4.3.1. Discretização da bacia hidrográfica	40
4.3.2. Unidades de Resposta Hidrológica (HRU), classes de uso da terra e tipos do solo	40
4.3.3- Classes de declividade	41
4.4. Análise estatística de desempenho do modelo.....	42
4.5. Calibração do modelo	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45

5.1. Análise do uso da terra na bacia do Bacia Representativa de Sumé.....	45
5.2. Espacialização da precipitação na BRS	48
5.3. Análise das mudanças no escoamento superficial	48
5.3.1-Estimativa do escoamento superficial na Bacia Representativa de Sumé.	51
5.3.2- Simulação da produção de sedimentos na Bacia Representativa de Sumé...	54
6. CONCLUSÃO.....	57
7. REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica dos solos é a principal causa da degradação ambiental, sendo uma ameaça à integridade dos ecossistemas devido aos processos de desprendimento e arraste das partículas do solo. Esse processo é influenciado por fatores como: topografia, clima, características do solo e uso e ocupação da terra (OLIVEIRA et al., 2009).

A erosão é um fenômeno natural, mas pode ser intensificado em decorrência do uso e manejo indevido do solo, causado principalmente pela exploração intensiva, associada a práticas de manejo e conservação inadequadas. O processo de erosão do solo pode causar diversos impactos ao ambiente e conseqüentemente à sociedade, como assoreamento dos rios e perda de solo, o que acarreta em diversos impactos no uso e ocupação da terra (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005).

Esse problema vem sendo estudado com frequência no Brasil, por ser algo que afeta todas as regiões do País e em grande intensidade. Diversas entidades também tem dedicado tempo a estudar esse processo no Brasil, como Universidades e instituições públicas especializadas, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Alguns autores abordaram essa temática no Nordeste do Brasil, como Medeiros, et al (2014), que analisaram a erosão hídrica na região semiárida da Paraíba usando o modelo SWAT acoplado a um SIG. Srinivasan, et al (2003) que estudaram a erosão hídrica do solo na Bacia Experimental de Sumé e Silva, et al (2009) que fizeram uma análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do Rio Capiá, baseado em SIG e sensoriamento remoto. Esses estudos estão produzindo mais conhecimento sobre o comportamento desse processo, no País e no Nordeste, e tecnologias de prevenção e combate a erosão (GUERRA e BOTELHO, 2009).

Segundo Silva et al (2009), as questões relacionadas à erosão têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, especialmente em regiões semiáridas de países como o Brasil, onde grande parte da população depende de atividades econômicas ligadas à agricultura ou pecuária. Essas atividades associadas ao indevido manejo do solo aceleram o processo de erosão.

Além disso, os solos da região semiárida são geralmente rasos e com horizontes pouco desenvolvidos, e as chuvas tendem a ser torrenciais, gerando a lixiviação e uma produção exagerada de sedimento, o que ocasiona o assoreamento dos rios (que já apresentam uma

vazão baixa) e dos reservatórios. Essa afirmação é confirmada por Araújo (2011), ao citar que os solos da região semiárida brasileira são pouco desenvolvidos. Isso acontece em decorrência do clima da região, que tem como característica a escassez das chuvas, com isso os processos químicos não ocorrem plenamente.

Para esse mesmo autor, o período de chuva nessa região é bem característico. Sendo influenciado pelas condições da dinâmica atmosférica (fluxos das massas de ar), do relevo e da exposição dos ventos, etc. Esse período chuvoso é concentrado, em sua maioria, em quatro meses do ano. Como exemplo, se em um determinado lugar o total anual é de 400 mm, a concentração de chuva do período chuvoso pode chegar a 280 mm, restando apenas 120 mm para ser distribuído nos outros meses do ano (ARAÚJO, 2011).

Essas características físicas podem influenciar para que as regiões semiáridas tenham um difícil desenvolvimento socioeconômico. Sendo que, esse fator pode ser agravado na região semiárida brasileira pois, existem várias regiões semiáridas no planeta, entretanto, nenhuma destas possui a pluviosidade, a extensão e a densidade populacional do semiárido do Nordeste brasileiro (SANTOS et al., 2007). Em 2014 a população estimada do semiárido atingiu 23.846.982 hab., que equivale a 42,44% da população da Região Nordeste e 11,76% da população do país (SIGSAB, 2014).

Um das formas de se entender o processo de erosão é através dos estudos hidrossedimentológicos. Mas esse tipo de estudo ainda é escasso no Brasil e principalmente no Nordeste. As dificuldades para esse tipo de estudo vão desde a obtenção de dados hidrológicos, a falta de parâmetros de solos para todas regiões do Brasil, pois a maioria dos estudos hidrossedimentológicos são feitos no exterior, o que dificulta o manuseio de modelos que sejam compatíveis com a realidade brasileira. Como confirmam Lelis e Calijuri (2010) “a maior limitação do modelo SWAT é a dificuldade de se encontrar parâmetros regionais que alimentem o seu banco de dados”.

Um das maneiras de se estudar os processos hidrossedimentológicos é através da escala de bacias hidrográficas. As bacias hidrográficas são consideradas como um “sistema físico e dinâmico, sendo uma unidade funcional básica de planejamento e gerenciamento ambiental, pois nela ocorre a integração das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social” (CAMPOS, 2006, p.105). A partir desta constatação de Campos (2006) é possível ter uma dimensão da importância dos estudos em bacias hidrográficas, pois é algo que atinge

diretamente todo o ambiente. Problemas no gerenciamento, no uso do recurso água e o não planejamento podem causar diversas consequências.

Deve existir um planejamento quanto ao uso da água, pois de acordo com Christofolletti (1981, p.20).

Verifica-se que qualquer programa de planejamento regional, urbano ou agrícola, envolve aspectos ligados com a sedimentação fluvial. Muitas atividades humanas podem aumentar ou diminuir a quantidade de água escoada superficialmente, tendo consequências no regime fluvial e na intensidade das cheias.

Para os aspectos hidrossedimentológicos a modelagem é uma das formas de estudo, que é a simulação dos processos que ocorrem em uma bacia ou sub-bacia, de acordo com as características físicas e biológicas da região. O modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), é um dos mais utilizados mundialmente, pela diversidade de aplicações. Por meio desse modelo é possível prever cenários de produção de sedimento e escoamento superficial em pequenas, médias ou grandes bacias, para a partir dessas informações propor estudos que gerem soluções. E para que os dados sejam validados, é utilizado o SWAT-CUP, programa criado especialmente para a calibração de dados do SWAT.

Alguns trabalhos foram produzidos no Nordeste do Brasil com esta mesma temática dos processos hidrossedimentológicos sendo simulados com o uso do SWAT, para um melhor gerenciamento dos recursos hídricos e das bacias hidrográficas. Como Dantas (2016) que estudou os processos hidrossedimentológicos da Bacia do Rio Taperoá, como Taveira (2012), que estudou a avaliação de alternativas de uso do solo através da simulação hidrossedimentológica da Bacia Representativa de Sumé com o modelo SWAT e Silva et al (2014), que estudaram a simulação da vazão e produção de sedimentos usando o modelo SWAT para a bacia do Rio Taperoá-PB e Henriques, et al (2017) que fizeram uma análise espacial dos processos hidrossedimentológicos da Bacia do Rio Taperoá-PB .

Uma alternativa para a obtenção de dados confiáveis é a partir da coleta de dados em bacias experimentais e representativas, que são bacias monitoradas por diversos equipamentos possibilitando estudos hidrológicos. O Nordeste foi a primeira região do Brasil a adotar bacias experimentais, em meados da década de 1970. Isso ocorreu devido as constantes secas e as condições climáticas da região, onde, foi notório a necessidade de acompanhamento por meio

de estudos hidrológicos. Assim, foi desenvolvido um projeto da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) em parceria com o Instituto Francês de Pesquisa Científica para o Desenvolvimento e Cooperação (ORSTOM) e algumas universidades. Com isso, foram implantadas a Bacia Experimental de Sumé e a Bacia Experimental de Tauá (ALVERGA, 2016).

A área de estudo escolhida para essa pesquisa foi a Bacia Representativa de Sumé (BRS), uma bacia já desativada, mas onde foram coletados diversos dados no período de 1970 a 1990. O que possibilitou a realização do estudo nessa área, além de ser uma área representativa quanto às características do semiárido brasileiro, que abrange aproximadamente 80% do espaço paraibano.

1.2 Justificativa

A região semiárida do Brasil já sofre com diversos tipos de problemas devido a sua variabilidade de chuvas, concentradas em quatro meses do ano, com as altas temperaturas médias anuais e com o desenvolvimento socioeconômico associado a disponibilidade de recursos hídricos (BRASIL, 2012), como a região passa naturalmente por períodos de estiagem, dificulta o desenvolvimento socioeconômico. A erosão dos solos também é um problema constante nas bacias do semiárido brasileiro, onde as consequências desse fenômeno se intensificam nessa região, pois, como já foi dito, a erosão provoca perda do solo e assoreamento dos rios, problemas que dificultam o armazenamento hídrico, em uma região que já possui um *déficit* hídrico.

Segundo Araújo (2012) a erosão hídrica em regiões tropicais semiáridas pode ser superior a erosão hídrica que ocorre em regiões tropicais úmidas, fazendo com que, para ter uma política de recursos hídricos do semiárido eficiente, tem que existir uma política de preservação do solo.

A erosão causa vários problemas em uma bacia hidrográfica como, na qualidade da água com o transporte de sedimentos e poluentes, o que pode gerar o assoreamento dos reservatórios (MARCELINO, 2009). Os reservatórios naturais (rios, lagos e etc.) e os reservatórios artificiais (açudes) que permitem o desenvolvimento nessa região nos períodos de estiagem, sendo de extrema importância ações que possibilitam a diminuição do assoreamento. Como os estudos da erosão, escoamento superficial e da produção de sedimentos.

De acordo com LORANDI e CANÇADO (2002), o estudo do escoamento é de extrema importância para o entendimento e planejamento do uso e ocupação da terra. Afirmando que,

O estudo do escoamento das águas (superficial e subterrâneo) torna-se de fundamental importância para a compreensão e determinação da erosão nos solos. Esses estudos, apresentam-se particularmente importantes no planejamento do uso e ocupação do solo, pois possibilitam a percepção das áreas com maior risco de ocorrência de escoamentos superficiais rápidos ou de escoamentos sub-superficiais mais lentos. Dessa forma, torna-se imperativo a compreensão do processo erosivo para o adequado manejo dos solos e planejamento de seu uso (LORANDI e CANÇADO, 2002, p.47).

Por isso a importância do estudo do fenômeno da erosão principalmente em áreas de clima semiárido, como a que foi estudada nesse projeto com o uso de modelagem hidrossedimentológica, com suporte em SIGs.

Segundo Schmidt e Mattos (2013), é de extrema importância para um eficaz gerenciamento dos recursos hídricos e do uso da terra, o entendimento da dinâmica espacial, temporal e quantitativa dos recursos hídricos disponíveis em uma bacia. Também é importante o estudo do uso e ocupação da terra, pois a partir de um devido planejamento de uso e ocupação da terra é possível ter uma maior disponibilidade de recursos hídricos e menores áreas susceptíveis a erosão.

Assim, esse trabalho pretende estudar os processos hidrossedimentológicos de uma bacia no semiárido para auxiliar na produção de conhecimento nesta temática, que é tão escassa e necessária para o Nordeste do Brasil.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar os processos hidrossedimentológicos na Bacia Representativa de Sumé com auxílio de modelagem associada a SIG e o comportamento desses processos em diferentes realidades de uso e ocupação da terra, uma antiga e uma atual.

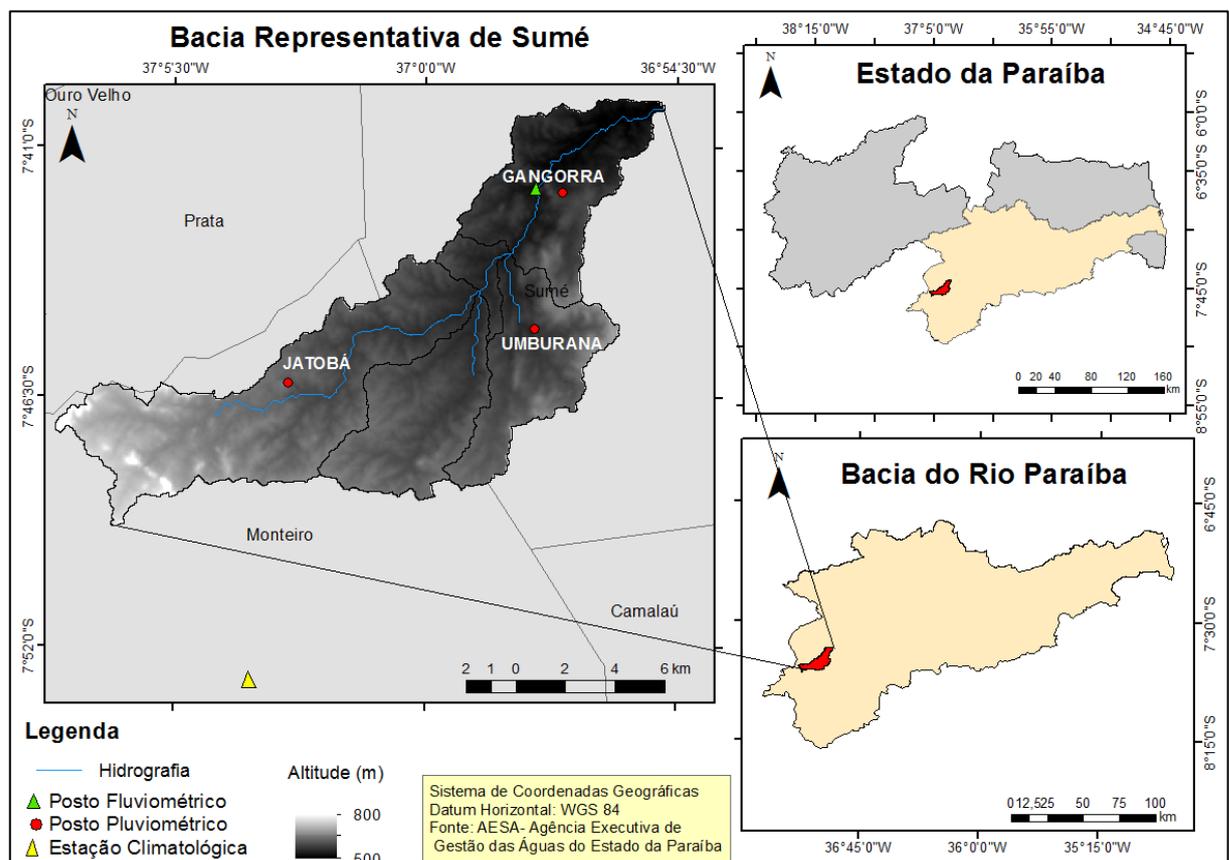
1.3.2 Específicos

- Analisar duas realidades de uso e ocupação da terra na Bacia Representativa de Sumé mediante a assimilação de dados de Sensoriamento Remoto.
- Estudar o escoamento superficial na Bacia Representativa de Sumé usando o modelo hidrossedimentológico SWAT em duas realidades de uso e ocupação da terra, em escala diária.
- Estimar a produção de sedimentos na Bacia Representativa de Sumé, utilizando o modelo hidrossedimentológico SWAT, em duas realidades de uso e ocupação da terra, em escala diária.

2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA REPRESENTATIVA DE SUMÉ

A Bacia Representativa de Sumé (BRS) definida por Cadier e Freitas (1982), tem aproximadamente 137,4 km² de área, mas para esse trabalho será utilizada a BRS definida no modelo SWAT, que tem aproximadamente 160 km² de área (Fig.1). Essa bacia está subdividida em três sub-bacias: Umburana, Jatobá e Gangorra, onde as duas primeiras são sub-bacias da bacia Gangorra. A BRS está inserida no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba-PB.

Figura 1-Localização da Bacia Representativa de Sumé (BRS), no Estado da Paraíba.



Fonte: Autor (2017).

A BRS tem uma população de aproximadamente 17.000 pessoas, segundo o IBGE (2016) e está localizada entre os municípios de Sumé e Monteiro no Estado da Paraíba (Fig.1), entre as coordenadas 7° 40' e 7° 51' de Latitude Sul e 36° 05' e 37° 30' de Longitude Oeste. Essa região foi definida como hidrologicamente homogênea por possuir características físico-climáticas como: a) uma precipitação interanual de aproximadamente 550 mm; b)

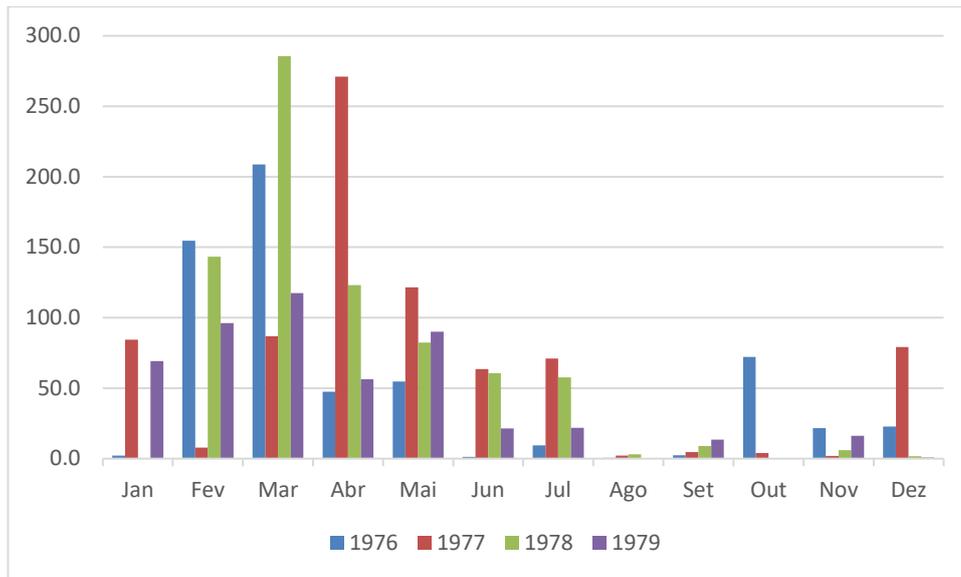
altitudes variando de 500 a 700 m; c) geologia predominantemente cristalina e em decorrência disso, subsolo impermeável; d) relevo moderado a forte (CADIER e FREITAS, 1982).

Quanto a morfologia, a BRS possui relevo suave em sua maioria, mas existem áreas com elevada declividade. A geologia tem predominância do substrato cristalino, com rochas formadas no período pré-cambriano, com 20% de granitos alcalinos, onde se originam os solos do tipo Argissolo; 60% de xistos, paranfibólito e gnaiss, onde ocorrem os solos do tipo Luvissolo e 20% de gnaisses e quartizito, onde se desenvolvem os solos do tipo Neossolo Litólico. Esses tipos de rochas são caracterizados pela ausência de aquíferos generalizados, com exceção de alguns pontos que possuem fendas ou zonas aluviais de pouca espessura (CADIER e FREITAS, 1982).

Essa geologia deu origem a diferentes solos na região que foram reclassificados de acordo com a nova classificação da Embrapa (JACOMINE, 2008). Sendo assim, anteriormente foi classificado como solos Bruno Não-Cálcico Vérticos, foram reclassificados como Luvissolo Crômico, o Podzólico Vermelho-Amarelo, foi reclassificado como Argissolo Vermelho-Amarelo e o Litossolos Eutróficos, foram reclassificados como Neossolos Litólicos.

O clima da região é o mesmo da região semiárida, onde a bacia está inserida. Com isso, de acordo com a classificação de Köppen, a bacia está localizada no clima do tipo semiárido (BSh), devido a insuficiência das precipitações, as altas temperaturas e assim também elevada evaporação. São encontradas duas estações do ano bem definidas, sendo de Junho a Janeiro a estação seca e de Fevereiro a Maio a estação chuvosa, perceptível na Figura 2, que demonstra o acúmulo da precipitação na Bacia Representativa de Sumé durante o período em estudo.

Figura 2- Precipitação da BRS para o período de 1976 a 1979.



Fonte: Autor (2017).

Essa região passa periodicamente por períodos de estiagem, o que é uma característica de regiões de clima semiárido. A bacia de Representativa de Sumé está localizada na microrregião Cariri Paraibano. Essa é uma das áreas que menos chove no estado da Paraíba, sendo essa bacia pertencente a parte ocidental do Cariri. Possuindo médias pluviométricas entre (500 e 600 mm/ano), relevo um pouco acentuado e economia concentrada na agricultura e pecuária (SOUZA, 2008).

Ainda segundo Cadier e Freitas (1982), as massas de ar atuantes na região proporcionam um ciclo de chuvas curto e irregular, pois ocorre uma depressão pluviométrica, devido à estar localizada a Oeste do maciço da Borborema, causando um efeito natural de bloqueio das massas de ar úmida que vem do Oceano Atlântico Já na BRS a média pluviométrica está entre 550 e 600 mm/ano, por estar localizada no limite ocidental dessa depressão.

A cobertura vegetal da região também é a típica do semiárido sendo predominante a caatinga do tipo hiperxerófila densa, onde são encontradas espécies como: Xiquexique (*Pilosocereus gounellei*), Mandacarú (*Cereus jamacaru*), Aroeira (*Myracrodruon Urundeuva*), Favela (*Cnidocolus phyllacanthus*), Macambira (*Bromelia laciniosa*) e Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*). (CADIER e FREITAS, 1982).

O uso da terra na região, segundo o levantamento da SUDEMA feito nas décadas de 1970 a 1980, era a agricultura de subsistência, com a predominância das culturas do milho, feijão e algodão. Essas culturas são praticadas principalmente nas áreas de solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo e próximo aos cursos de água. E a pecuária praticada é a de forma extensiva e em condições precárias (CADIER e FREITAS, 1982, p.15).

Assim, a principal atividade econômica dessa região foi por muito tempo o binômio Gado-Algodão, segundo o PTDRS (*Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável, 2011*). Essas atividades contribuíram para o desmatamento da região. Após a decadência da cultura do algodão na década de 1980, principalmente pela praga do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis*), houve, segundo Souza (2008), o incentivo para a pecuária por meio de políticas públicas. Sendo assim, a principal fonte econômica atual da região continua sendo a criação de gado.

Moreira e Targino (2011) confirmam isso ao afirmarem que a expansão da caprinocultura, a interação da cadeia produtiva do leite e a inserção do pequeno produtor no Programa do Leite, foram algumas das ações do Governo para incentivar a pecuária na região a partir do início do século XXI. Outra atitude tomada pelo governo para melhorar a convivência nessa região, foram os investimentos em tecnologias sociais hídricas para o semiárido.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Geografia é uma ciência que permite o estudo da natureza e da sociedade integrados, possibilitando um entendimento da paisagem. Para entender os processos hidrossedimentológicos em uma bacia hidrográfica, como forma de abordagem sendo a análise da paisagem, foi necessário alguns fundamentos, como a ideia de Paisagem, unidades de paisagem, geossistema e os aspectos que envolvem os processos hidrossedimentológicos.

3.1. A abordagem geossistêmica na análise da paisagem

De acordo com Bertrand (2004), o conceito de paisagem pode ser definido como uma entidade global, que possibilita uma combinação dinâmica entre os elementos físicos, biológicos e antrópicos. Essa dinâmica não corresponde necessariamente a evolução desses elementos em conjunto, mas pode sim ocorrer a evolução desses elementos separadamente.

Ainda para esse autor a paisagem é resultado da combinação local e única de fatores como, sistema de declive, clima, rocha, manto de decomposição, hidrologia das vertentes com uma mesma dinâmica de geomorfogênese, pedogênese e mesma degradação antrópica da vegetação. Ou seja, as unidades de paisagem são definidas de acordo com suas características físicas (relevo, clima, cobertura vegetal, solos) ou até mesmo pelo arranjo estrutural e o tipo de litologia ou, só por um desses elementos (ROSS, 1992).

A categoria de análise das unidades de paisagem são os geossistemas, que podem ser definidos como a interação dos fenômenos naturais, ou seja os aspectos geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e fitogeográficos, com os fenômenos antrópicos, que são os aspectos sociais e econômicos. Juntos representam a paisagem modificada ou não pela sociedade (GUERRA e MARÇAL, 2006). O geossistema apresenta uma boa organização para estudo do espaço pois é compatível com a escala humana (BERTRAND, 2004).

3.2 A Bacia hidrográfica e os processos hidrossedimentológicos

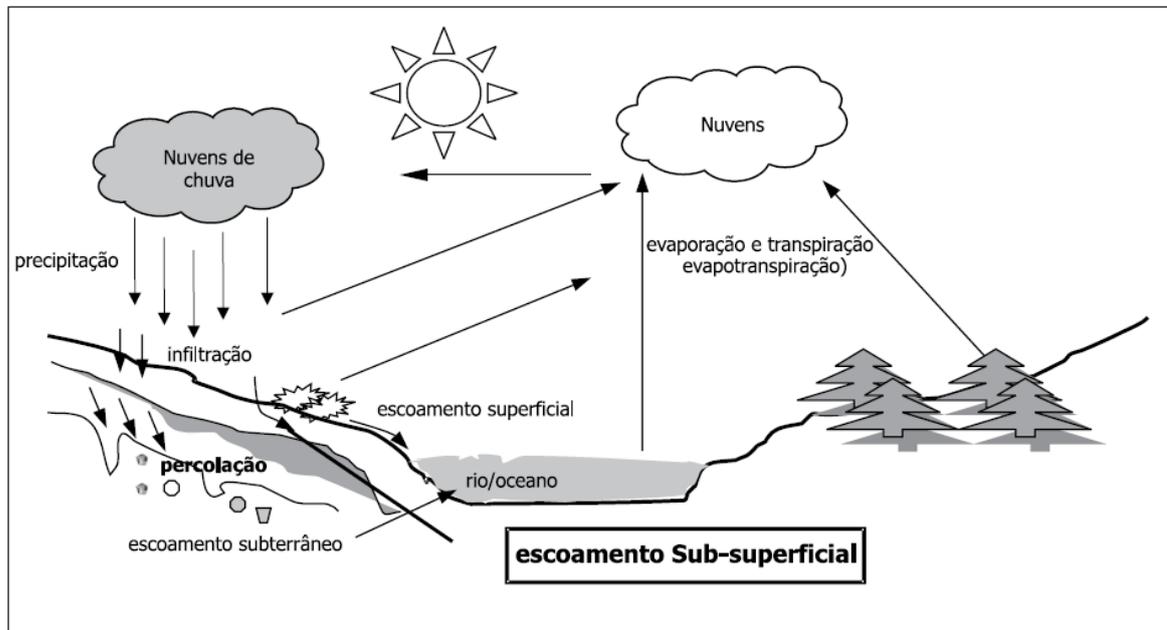
Como já foi mencionado a bacia hidrográfica é um importante sistema de interação entre os aspectos bióticos e abióticos, sendo uma importante unidade espacial de planejamento para a sociedade. Assim, o conceito de bacia hidrográfica é definido pela interação de encostas, topos, fundo de vale, canais, corpos de água subterrânea, sistemas de drenagem e áreas irrigadas. Essa área da superfície tem a drenagem formada por cursos de água, sedimentos e materiais dissolvidos, que confluem até chegar em um leito único, que seguem até um ponto de saída (COELHO NETTO, 2001).

As bacias hidrográficas são classificadas como representativas quando possuem instrumentos, aparelhos de observação e registro de fenômenos hidrológicos que possibilitam a representação de bacias próximas com aspectos físicos homogêneos. Isso permite a fundamentação de estudos que permitem o melhor entendimento dos aspectos hidrológicos. Essas bacias têm que possuir uma extensão entre 1 e 250 km² e o período preferencial de análise é superior a 30 anos. A avaliação ocorre em conjunto com estudos climáticos, geológicos, pedológicos e hidrogeológicos (PAIVA e PAIVA, 2001, p.7).

Os processos que atuam nas bacias hidrográficas ocorrem a partir do ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico é um processo natural de circulação fechada, entre a água com a superfície terrestre e a atmosfera. Onde o vetor de energia é o Sol, associado a gravidade e a rotação da Terra. Fazendo parte desse ciclo, alguns processos como: a precipitação,

evaporação, evapotranspiração, a condensação e infiltração. A seguir (Figura 3) é representado um esquema desse ciclo (LORANDI e CANÇADO, 2002, p.52).

Figura 3-- Representação do ciclo hidrológico.



Fonte: LORANDI e CANÇADO (2002).

O ciclo hidrossedimentológico consiste na junção dos processos hidrológicos e sedimentológicos na superfície terrestre. Ocorrendo simultaneamente ao ciclo hidrológico e causa os fenômenos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos a partir da ação da água ao longo de uma bacia hidrográfica (BORDAS e SEMMELMANN, 2014).

No ciclo hidrológico após a precipitação, a água precipitada segue geralmente dois caminhos. Dependendo das características do solo, esse, pode ser mais argiloso ou poroso. Se for poroso é mais susceptível a infiltração, essa infiltração ocorre até atingir um ponto de saturação. Após a água precipitada ultrapassar o ponto de saturação ela pode, se houver excedente, pode percolar, segundo a ação da gravidade. Esse processo pode ser chamado de escoamento superficial (LORANDI e CANÇADO, 2002).

“A parte da água que não é absorvida pelos vegetais percola até os lençóis freáticos e/ou artesianos (aquíferos), favorecendo o escoamento subterrâneo da água para os rios em épocas de estiagem (escoamento de base)” (LORANDI e CANÇADO, 2002, p.53).

O escoamento fluvial foi discutido por Christofolletti (1981), como sendo diretamente influenciado pela água e quanto a perspectiva geomorfológica a água exerce uma influência

muito grande no sedimento fluvial, provocando o transporte, a deposição e a esculturação da topografia do leito.

Ainda para esse autor, “os fatores hidrológicos (onde os mais importantes são, a quantidade e a distribuição espacial da precipitação), a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam na formação do material intemperizado (sedimento) na bacia hidrográfica” (CHRISTOFOLETTI, 1981, p.19) “Como também a ação antrópica modifica direta e indiretamente a produção de sedimento de uma área” (SOUZA, 2014).

A produção de sedimentos envolve os processos de remoção, transporte e deposição do sedimento, sendo influenciados pela dinâmica de drenagem da bacia. Esse fenômeno é responsável pela alteração da paisagem e na esculturação dos canais fluviais. O entendimento desse processo possibilita o conhecimento do que poderá ocorrer na paisagem caso sejam modificadas as condições naturais de funcionamento de uma bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A evaporação é um processo natural em que a água no estado líquido, se modifica para o estado de vapor e a transpiração é o processo de “perda de água para a atmosfera em forma de vapor, decorrente das ações físicas e fisiológicas dos vegetais. Assim, a evapotranspiração seria a junção desses processos, ou seja, a evaporação do solo e a transpiração das plantas (VILELLA e MATTOS, 1975, p. 83). Essa evapotranspiração é determinada por variáveis meteorológicas, como a temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar, insolação e radiação solar (FINKLER, s.d. p.23).

A conceituação do balanço hídrico seria a diferença entre a circulação da água que ocorre na atmosfera, litosfera e hidrosfera, ou seja o balanço entre os componentes de entrada e saída de um sistema (VILELLA e MATTOS, 1975).

O balanço hídrico, na região semiárida do Brasil geralmente ocorre com uma deficiência hídrica, devido ao valor da evapotranspiração ser maior que o das precipitações. Com isso, as plantas da região são adaptadas e passam a maior parte do ano desfolhadas e com aspecto de “mortas”, isso é uma estratégia de adaptação para poupar, água e nutrientes no período de escassez hídrica (ARAÚJO, 2011).

3.3 O Fenômeno da erosão e a influência da vegetação no semiárido nordestino

A erosão “é um fenômeno natural, através do qual a superfície terrestre é desgastada e afeiçãoada por processos físicos, químicos e biológicos de remoção, que modelam a paisagem” (SUGUIO, 2003, p.25)

O conceito de erosão também pode ser definido como o processo de desprendimento e arraste de partículas do solo, onde o vetor são a água e o vento. Esse processo constitui uma das principais causas de enfraquecimento (perda de nutrientes) acelerado do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). Quando a erosão resulta de “forças da natureza”, ela pode ser considerada geológica ou natural, mas quando ela é influenciada por “forças antrópicas”, é considerada uma erosão acelerada (HUDSON, 1981).

Existem vários tipos de erosão, que são provocados por meio de águas pluviais, fluviais e marinhas ou a “força” do vento. Suguio (2003, p. 26-27) comentou sobre alguns desses tipos de erosão:

- Na erosão pluvial o agente é a água da chuva. Esse tipo de erosão é subdividida em outros tipos, como a erosão de salpico (*splash erosion*) que é ocasionada pelo gotejamento das gotas de chuva sob o solo. Já a erosão do tipo enxurrada é provocada pelo *lençol de escoamento superficial*. E o outro tipo é a modificação física e química que é causada pela água pluvial infiltrada. A erosão laminar (*sheetflood erosion*) ocorre quando há uma menor declividade e quando há uma declividade maior, provoca a erosão subterrânea, podendo ocorrer ravinas e voçorocas.
- A erosão fluvial ocorre quando o vetor são os rios, é considerada a “erosão normal” pelo remodelamento feito pelo rios nas vertentes e interflúvios. Esse tipo de erosão é controlado pelo clima e a geologia do local.
- A erosão eólica é causada pelo vento e ocorre principalmente em áreas litorâneas e em regiões de clima seco. Pode atingir amplas áreas, podendo atuar na declividade dos terrenos e em oposição a outros agentes.
- A erosão laminar é causada pelo efeito da água corrente. É mais recorrente em regiões de clima árido, devido às chuvas torrenciais, ocasionando os pedimentos.
- A erosão lateral é a que promove o alargamento dos rios, é uma erosão horizontal e atinge as bordas do canal fluvial. Já a erosão vertical provoca o aprofundamento dos rios.

A erosão que acontece no nordeste brasileiro ocorre nos sulcos superficiais finos, que são escavados devido ao efeito *splash* ocasionados pela energia cinética das gotas de chuva, que muitas vezes são chuvas torrenciais, caracterizadas por possuírem uma forte energia cinética, onde a chuva carrega o solo superficial formando os sulcos que depois podem se transformar em voçorocas. Segundo Sampaio et al (2003) a combinação entre a intensidade pluviométrica (concentração da chuva em um curto intervalo de tempo) e a cobertura vegetal decídua, faz com que na região semiárida do Brasil exista uma potencialização do processo erosivo, contribuindo para a acumulação de sedimentos nas planícies fluviais e em outras unidades geomorfológicas de acumulação. A erosão laminar é o principal tipo de erosão que ocorre em ambiente semiárido, contribuindo com a maior parte da produção de sedimentos, sendo dificilmente percebida e medida.

De acordo com Lorandi e Cançado (2002) a cobertura vegetal é determinante no processo erosivo, sendo eficiente na proteção do solo da energia cinética da chuva, na formação de húmus, isso influencia na estabilidade e no teor de agregados do solo. Ou seja, “quanto maior a densidade da cobertura vegetal, maior será a sua importância na redução da remoção de sedimentos, no processo de escoamento superficial e na consequente conservação do solo” (LORANDI e CANÇADO, 2002, p. 50).

Ainda sobre a cobertura vegetal como estratégia de conservação do solo, Guerra e Botelho (2009) argumentam que,

O aumento da cobertura vegetal do solo implica em maior proteção contra o impacto das gotas de chuva, permite melhor estruturação do solo, em função do papel agregador da matéria orgânica a ele incorporada, e reduz o *runoff* (escoamento superficial) pelo aumento da rugosidade do terreno e da infiltração. A infiltração, por sua vez, pode ser elevada através da melhor estruturação do solo, aumento da macroporosidade, da rugosidade do terreno e da diminuição do selamento superficial, condições que são atingidas com o aumento da cobertura vegetal. (GUERRA e BOTELHO, 2009, p.214).

Segundo Araújo (2011), a vegetação da Caatinga, típica da região semiárida, é escassa e esparsa aumentando a probabilidade de processos erosivos pela desnudação do solo. Mas, no local que ainda possui concentração vegetal, funciona como uma “esponja” retendo a água por mais tempo no solo e proporcionando o aumento da infiltração. Essa vegetação foi muito degradada principalmente por atividades extrativistas da madeira para o uso da lenha,

queimadas ou o desmatamento para a agropecuária. Essas atividades influenciaram no desaparecimento ou diminuição de espécies.

Outro fator que poderia ser amenizado com a vegetação, é a salinização dos solos. Devido as características dos solos, a pouca chuva e a evapotranspiração, os solos podem apresentar alta taxa de sais. Se a cobertura de vegetação morta fosse mantida sob os solos, diminuiria a evaporação e assim a salinização dos solos (ARAÚJO, 2011).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a execução do presente estudo, foi utilizado como metodologia o uso do modelo hidrossedimentológico SWAT para a obtenção dos resultados propostos pelos objetivos. Esse tópico irá tratar dos dados necessários para a execução do SWAT e uma breve descrição do modelo.

O modelo SWAT pode ser executado acoplado a um SIG, nesse projeto foi utilizado o ArcSWAT. O ArcSWAT é uma extensão do ArcGIS® 10.2, desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Nessa interface são feitos o pré e pós-processamento dos dados de execução do modelo hidrossedimentológico SWAT (SANTOS, 2015).

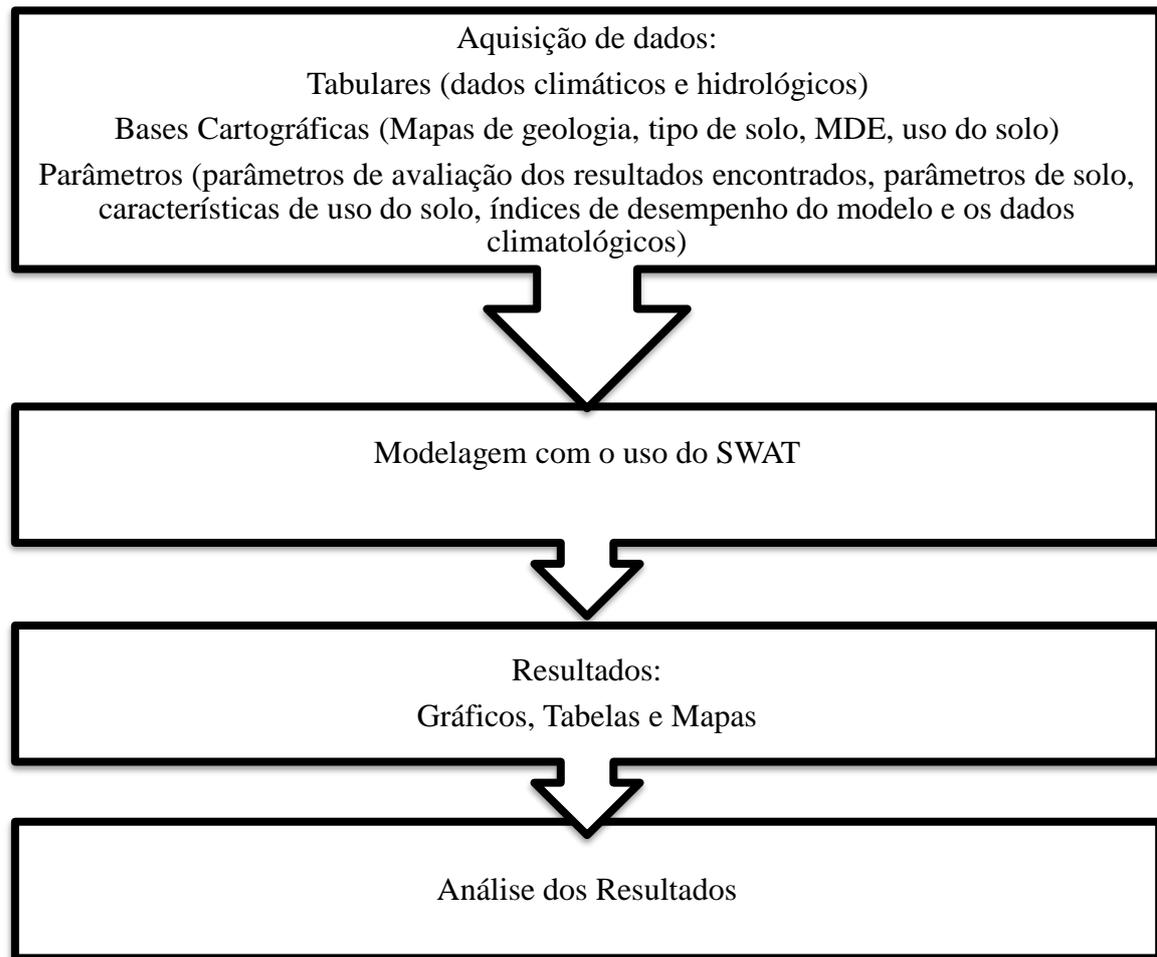
4.1. Dados utilizados

Nessa pesquisa foram utilizados diversos dados e informações para o seu desenvolvimento. Os dados tabulares foram os dados climáticos e hidrológicos dos anos de 1976 a 1979, já os dados de bases cartográficas foram os mapas da geologia, tipo do solo, Modelo Digital de Elevação (MDE) e mapas de uso do solo dos anos de 1984 e de 2015.

Outros dados foram adquiridos da literatura correspondente ao estudo, tais como parâmetros de avaliação dos resultados encontrados, parâmetros de solo, coletados em Dantas (2016), características de uso do solo, índices de desempenho do modelo e os próprios dados climatológicos da bacia foram coletados em Cadier e Freitas (1982).

Na Figura. 4 a seguir há um esquema com as etapas do estudo, que vai desde a aquisição de dados à análise dos resultados.

Figura 4- Esquema com as etapas do estudo.

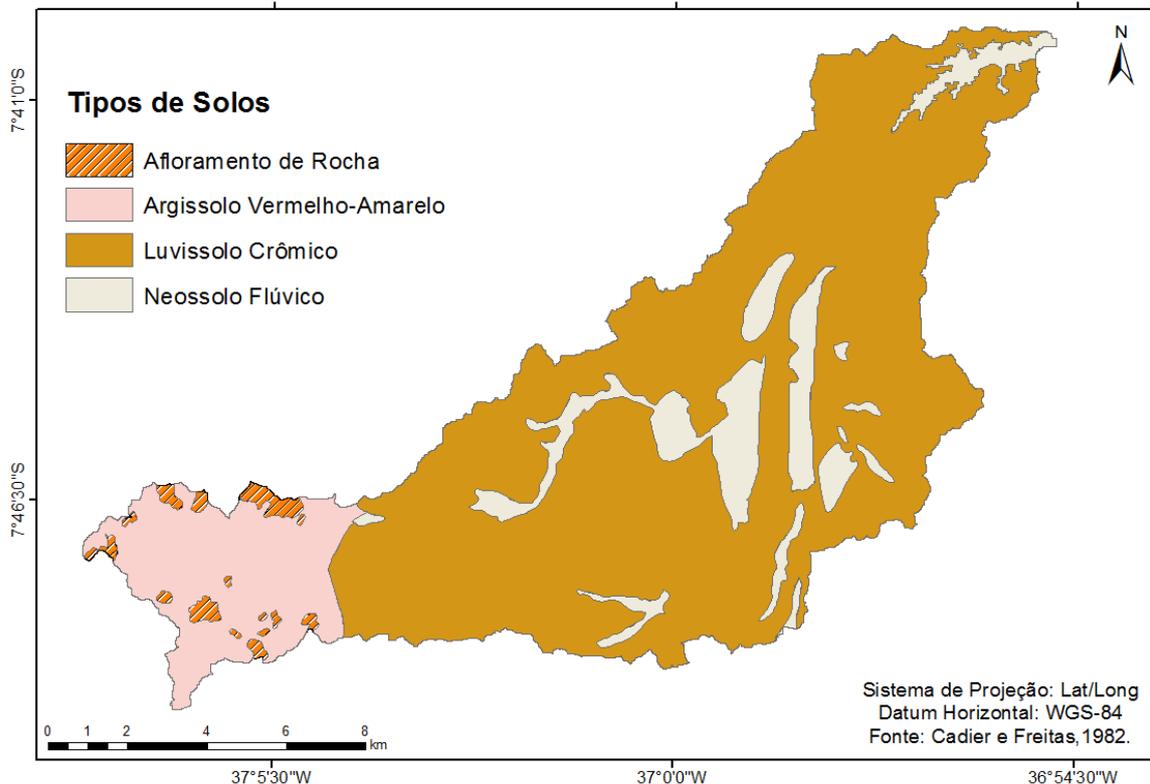


Fonte: Autor (2017).

4.1.1 Tipos de solo

De acordo com SUDENE (1982), a Bacia Representativa de Sumé (BRS), possui três tipos de solos, mais afloramentos rochosos. A Figura. 5 mostra a distribuição espacial dos tipos de solos ao longo da bacia.

Figura 5- Mapas dos tipos de solos existentes na BRS.



Fonte: Autor (2017)

Os parâmetros para os tipos de solos existentes na bacia foram obtidos através do Sistema de Informação de Solos Brasileiros, disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Estes tipos de solos serão descritos com maior detalhamento na Tabela. 1.

Tabela 1- Tipos de solos existentes na BRS

Tipos de Solo	Área (km ²)	Área (%)	Descrição
Neossolo Flúvico	17,84	11,15	Os neossolos são solos que possuem recorrência em regiões do Bioma Caatinga. São solos pouco evoluídos, de no máximo 50cm, sendo considerados rasos, com textura e fertilidade variável. Possuem fragmentos de rocha e muitos materiais minerais primários, de fácil intemperismo. Por serem solos rasos, o solo é rapidamente saturado facilitando o escoamento superficial, isso influencia a ocorrência de processos erosivos e deslizamentos, que são agravadas nas encostas íngremes e sem vegetação (GUERRA e BOTELHO, 2009)

Afloramento de Rocha	2,30	1,44	São tipos de terreno e não solo. São representados por exposição de rochas de diferentes tipos (gnaisse e granito). Tendo como principal característica o escoamento superficial máximo (CADIER e FREITAS, 1982).
Argissolo Vermelho Amarelo	19,60	12,25	Os solos do tipo Argissolo são solos comuns no Brasil, sendo o do tipo vermelho-amarelo o mais recorrente. São solos geralmente com horizonte B textural e caracterizado pela acumulação de argila. Há uma certa diferença entre o horizonte A e B, sendo o horizonte A mais arenoso e o B mais argiloso o que ocasiona dificuldade de infiltração e conseqüentemente maior permeabilidade do solo o que favorece o escoamento superficial. Essa característica faz com que esse tipo de solo possua certa suscetibilidade a processos erosivos (GUERRA e BOTELHO, 2009)
Luvissolo Crômico	120,25	75,16	Os Solos do tipo luvissolos são solos típicos do sertão do Nordeste brasileiro. Possuindo como característica horizonte B textural na cor vermelha e o horizonte A de cor clara, na ausência de água, o horizonte superficial fica endurecido. Apresenta suscetibilidade a erosão devido a consistência e coesão do horizonte A endurecido e da diferença entre a textura dos horizontes A e B (GUERRA e BOTELHO, 2009)

Fonte: Cadier e Freitas (1982) e Guerra e Botelho (2009).

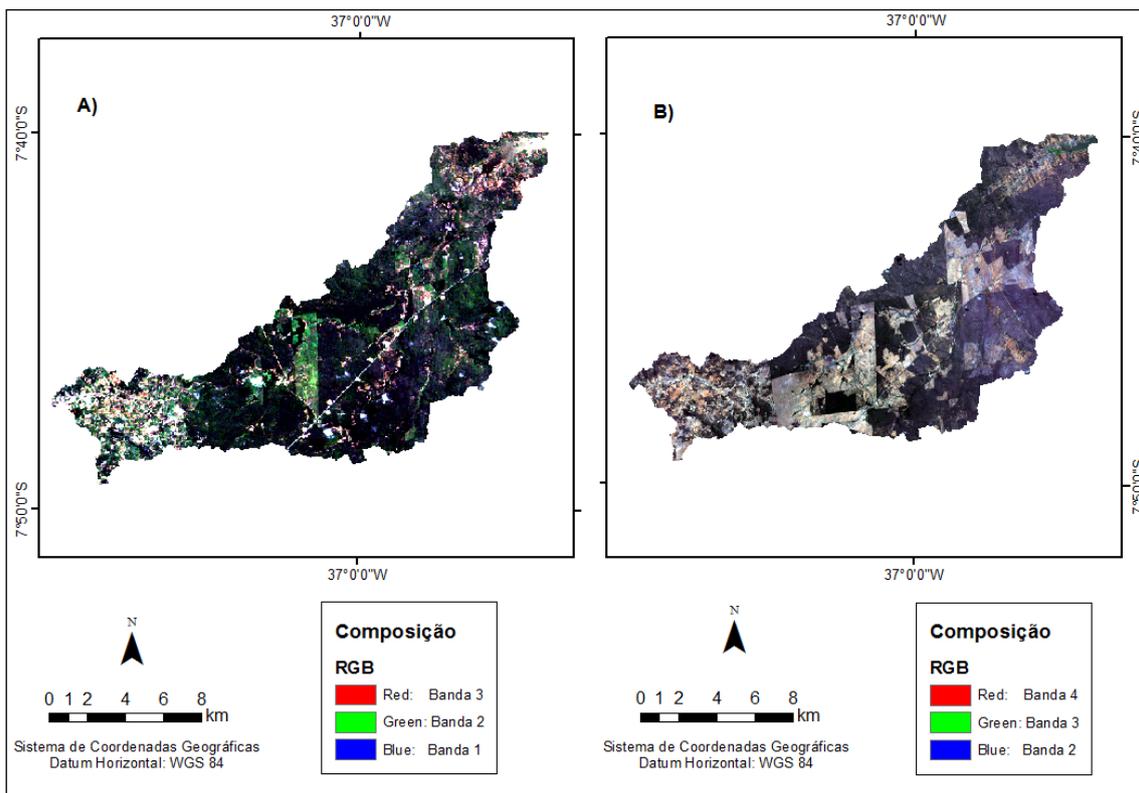
4.1.2 Uso e ocupação da terra

Os mapas de uso e ocupação da terra foram produzidos com base em duas imagens de satélites, uma com ano próximo aos dados tabulares coletados e uma mais recente da década de 2010 (Figura 6). A primeira imagem foi do dia 17 de junho do ano de 1984, do sensor TM/ Landsat-5 e a segunda imagem do dia 06 de maio do ano de 2015, que foi obtida do sensor OLI/ Landsat-8, ambas obtidas junto ao site do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Para essas duas imagens foram realizadas composições coloridas das bandas, sendo da primeira imagem a composição de RGB (Vermelho, Verde e Azul) as bandas 3, 2 e 1, respectivamente. Para a segunda imagem, a composição RGB foi aplicada nas bandas 4, 3 e 2, respectivamente.

Não foi utilizada a mesma ordem de composição para as duas imagens, pois com a mesma composição elas não representaram um bom resultado de visualização em virtude da mudança no comprimento de ondas das bandas dos dois sensores utilizados. Foram escolhidas essas imagens principalmente por não haver a presença de nuvens na área de estudo e por permitirem uma melhor identificação dos objetos nas imagens.

Após o pré-processamento dessas imagens, foi realizado o georreferenciamento, usando o *software* ArcGIS® 10.2. Após essa etapa, as imagens foram classificadas de acordo com o seu uso e ocupação da terra, usando o *software* Spring 5.3. A classificação foi realizada através do método supervisionado, utilizando o classificador de Máxima Verossimilhança. Na área de estudo foram definidas cinco classes: (a) vegetação arbustiva, (b) vegetação herbácea, (c) água, (d) solo exposto/área agricultável/ área de pecuária, e (e) estradas, compostas por rodovias e estradas carroçáveis.

Figura 6- Imagens de satélites da BRS para: (A) 1984 e (B) 2015.



Fonte: Autor (2017).

4.1.3. Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido a partir da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), realizada no ano 2000, que dispõe de dados em escala global. O MDE utilizado possui resolução espacial de 30 metros e foi adquirido junto ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), disponível do site do INPE, em <http://www.dsr.inpe.br/topodata>.

4.1.4. Dados climáticos e hidrológicos

Nesse estudo foram utilizados dados climatológicos da estação de Monteiro (Figura.1), obtidos junto ao INMET. Foi escolhido essa estação, pois era a estação mais próxima da área de estudo.

Foram utilizadas médias mensais para os parâmetros climatológicos, esses parâmetros foram relacionados à temperatura (TMPMX, TMPMN, TMPSTDMX, TMPSTDMN), precipitação (PCPMM, PCPSTD, PCPSKW, PR_W1, PR_W2, PCPD, RAINHHMX), radiação solar (SOLARAV), umidade relativa do ar (DEWPT) e velocidade do vento (WNDV). Esses dados foram utilizados para o gerador climático do modelo SWAT. Os valores estão descritos na tabela abaixo (Tabela.2).

Tabela 2- Descrição dos parâmetros climáticos utilizados no gerador climático.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMX	32,4	31,8	31,1	30,2	29,1	28,0	27,8	29,2	30,8	32,3	32,8	32,7
TMPMN	19,8	19,8	20,0	19,5	18,2	16,9	16,1	15,5	16,7	18,4	19,4	19,8
TMPSTDMX	5,3	11,1	5,3	8,0	5,0	7,3	4,7	4,8	7,7	5,1	8,0	1,6
TMPSTDMN	3,5	6,9	3,4	5,3	3,5	4,8	3,5	3,4	4,6	3,3	4,9	1,4
PCPMM	60,2	76,7	107,2	96,9	81,7	47,5	42,2	24,5	21,6	27,0	22,1	45,9
PCPSTD	7,4	8,6	9,3	9,2	8,2	4,5	4,4	2,1	2,3	3,9	3,3	7,9
PCPSKW	7,5	5,9	5,0	5,2	6,7	7,4	8,9	8,6	11,5	12,1	16,0	12,8
PR_W1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
PR_W2	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
PCPD	11,4	12,2	15,7	15,6	15,0	13,7	13,0	10,8	9,4	8,8	7,8	9,4
RAINHHMX	0,7	1,0	1,5	1,3	1,0	0,5	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	0,5
SOLARAV	26,0	25,9	24,9	22,8	20,2	18,5	18,7	21,0	23,7	25,5	26,0	26,0
DEWPT	19,4	19,9	20,7	20,9	20,0	18,9	18,3	17,4	17,8	18,2	18,4	18,7
WNDV	3,0	2,5	2,1	1,9	1,8	2,2	2,4	2,8	3,2	3,5	3,8	3,5

Fonte: INMET (2015).

Os dados de precipitação foram coletados dos postos Gangorra, Umburana e Jatobá (Tabela 3), ambos instalados dentro da bacia hidrográfica. Os dados de vazão foram coletados no posto Gangorra. Os dados de precipitação e vazão foram catalogados no período de Outubro de 1975 a Setembro de 1980. Mas, os dados utilizados para o trabalho foram

coletados em escala diária entre os anos de 1976 a 1979 para a precipitação e de 27 de março de 1977 a 13 de janeiro de 1978 para os dados de vazão, pois nesse período não houve falhas.

Tabela 3- Descrição dos postos utilizados na pesquisa.

Nome do Posto	Tipo	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período (Diário)
Gangorra	Pluviométrico	-7,7	-36,95	550	1976 à 1979
Gangorra	Fluviométrico	-7,7	-36,95	550	27 de março de 1977 à 13 de janeiro de 1978
Umburana	Pluviométrico	-7,75	-36,96	564	1976 à 1979
Jatobá	Pluviométrico	-7,77	-37,05	600	1976 à 1979
Monteiro	Climatológico	-7,88	-37,06	603,66	1976 à 1979

Fonte: Cadier e Freitas (1982) e INMET(2015).

4.2. Breve descrição do modelo SWAT

O *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) é um modelo hidrossedimentológico desenvolvido por Jeff Arnold, que faz parte da *Agricultural Research Service* (ARS) e do *United States Department of Agriculture* (USDA), com o objetivo de prever os impactos do uso e manejo da terra na gestão das águas, na produção de sedimentos e na aplicação de produtos químicos agrícolas em grandes bacias hidrográficas, com diferentes condições de solo, uso e manejo da terra, durante longos períodos de tempo (NEITSCH et al, 2011).

Segundo Silva et al (2013), o SWAT é um modelo que oferece mecanismos para prever o efeito de diversas ações no solo, como o uso e manejo do solo, a produção de nutrientes, o uso de pesticidas sobre os recursos hídricos e as perdas de solo. Além de ser um dos modelos mais utilizados no mundo, por ter uma diversidade de parâmetros que controlam os processos do ciclo hidrológico

De acordo com Santos (2015), esse modelo foi o resultado de 30 anos de estudos, sendo a junção de fundamentos de outros modelos, sendo eles: o *Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems* (CREAMS) (KNISEL, 1980), o *Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems* (GLEAMS) (LEONARD et al., 1987) e o *Erosion Productivity Impact Calculator* (EPIC) (WILLIAMS et al., 1984). Essa versão atual do modelo está baseado no modelo desenvolvido por Williams et al. (1985), o *Simulator for Water Resources in Rural Basins* (SWRRB), com outros modelos, como o

Routing Outputs to Outlets (ROTO) (Arnold et al., 1995), QUAL2E (BROWN & BARNWELL, 1987), *Carbon Cycling Routine* (CFARM) (KEMANIAN et al., 2011), juntamente com um gerador de clima, uma rotina de transporte de sedimentos e um submodelo de água subterrânea (NEITSCH et al, 2011).

É um modelo de base semi-física, por isso necessita de dados físicos da região em estudo, como: dados de clima, propriedades do solo, topografia, uso e ocupação da terra e dados sobre a vegetação. Pode simular a partir desses dados, processos físicos associados à movimentação hídrica, sedimentar, crescimento de colheitas, ciclo de nutrientes, entre outros. O modelo divide a bacia hidrográfica em sub-bacias homogêneas, ou seja, que possuem o mesmo tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso e ocupação da terra, denominadas de unidades de resposta hidrológica (HRU) (NEITSCH et al, 2011).

Ainda segundo Neitsch et al (2011) alguns benefícios de usar esse modelo são:

- A partir dos dados de entrada o modelo é capaz de simular outros dados, como exemplo os cursos d'água, umidade do ar e evapotranspiração.
- É capaz de quantificar as mudanças desses dados de entrada na variável em análise, como exemplo a mudança da produção de sedimento.
- Utiliza dados de fácil aquisição em órgãos oficiais, como exemplo os dados de precipitação.
- Simula os processos em bacias hidrográficas de grande extensão, com pouco custo de tempo e dinheiro.
- Permite o estudo de impactos das variáveis analisadas a longo prazo, sendo um modelo de tempo contínuo.

O SWAT é um modelo muito completo e com muitos benefícios, o que influenciou na escolha do mesmo para a pesquisa. Das diversas variáveis que é possibilitado o estudo foi escolhido analisar o escoamento superficial e a produção de sedimento, em cada sub-bacia em escala de tempo diária. A seguir serão elencadas as equações responsáveis pela geração desses processos no modelo.

4.2.1-Equações do SWAT utilizadas na pesquisa.

O modelo divide-se em duas fases, a fase da terra e a fase da água. Na fase da terra o modelo controla a quantidade de água, nutrientes, sedimentos e descarga de pesticidas no canal principal de cada sub-bacia. A segunda fase, a fase da água ou de propagação, o modelo controla a movimentação de água e sedimentos na rede de canais, até a descarga (NEITSCH et al, 2011). De acordo com Carvalho Neto (2011) na fase da terra que ocorrem os “cálculos referentes ao fracionamento da precipitação nos diversos processos do ciclo hidrológico”.

4.2.2-Balanco Hídrico

A fase da terra está baseada na equação do balanço hídrico (SANTOS, 2015). Segundo Carvalho Neto (2011) são considerados quatro volumes de controle para estruturar o balanço hídrico no modelo, sendo eles, os reservatórios superficiais, sub-superficiais, subterrâneo raso ou livre e subterrâneo profundo. O balanço hídrico é aplicado para cada HRU, tornando os cálculos mais precisos e com um melhor resultado dos processos físicos. Com isso a equação do balanço hídrico é:

$$SW_t = SW + \sum_{t=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (1)$$

Onde:

- SW_t : a quantidade final de água no solo (mm);
- t : é o tempo (dias);
- R : a precipitação do dia (mm);
- Q_i : o escoamento superficial no dia (mm);
- ET_i : é a evapotranspiração no dia (mm);
- P_i : a percolação (mm) e
- QR_i : o fluxo de retorno (mm).

4.2.3- Escoamento Superficial

O método utilizado nesse trabalho para calcular o escoamento superficial no modelo SWAT foi o procedimento curva número (CN) desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), com base nos valores da precipitação diária (Dantas, 2016). Ainda segundo esse autor, o escoamento superficial é obtido pela equação.2:

$$Q_{surf} = \frac{(R - 0,2S)^2}{R + 0,8S} \quad (2)$$

sendo:

- Q_{surf} : é o escoamento superficial (mm);
- R : é a precipitação do dia (mm) e o
- S : é o parâmetro de retenção da água no solo, esse parâmetro varia de acordo com diferentes características, como o tipo de solo, declividade, tempo que a água permanece no solo e uso e manejo da terra. Com os valores variando de 1(solo totalmente seco) a 100 (solo totalmente úmido). Esse valor é obtido através da equação.3:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

sendo: CN equivalente ao grau de permeabilidade do solo, podendo variar de 1 (solo totalmente permeável) a 100 (solo impermeável).

4.2.4-Produção de Sedimentos

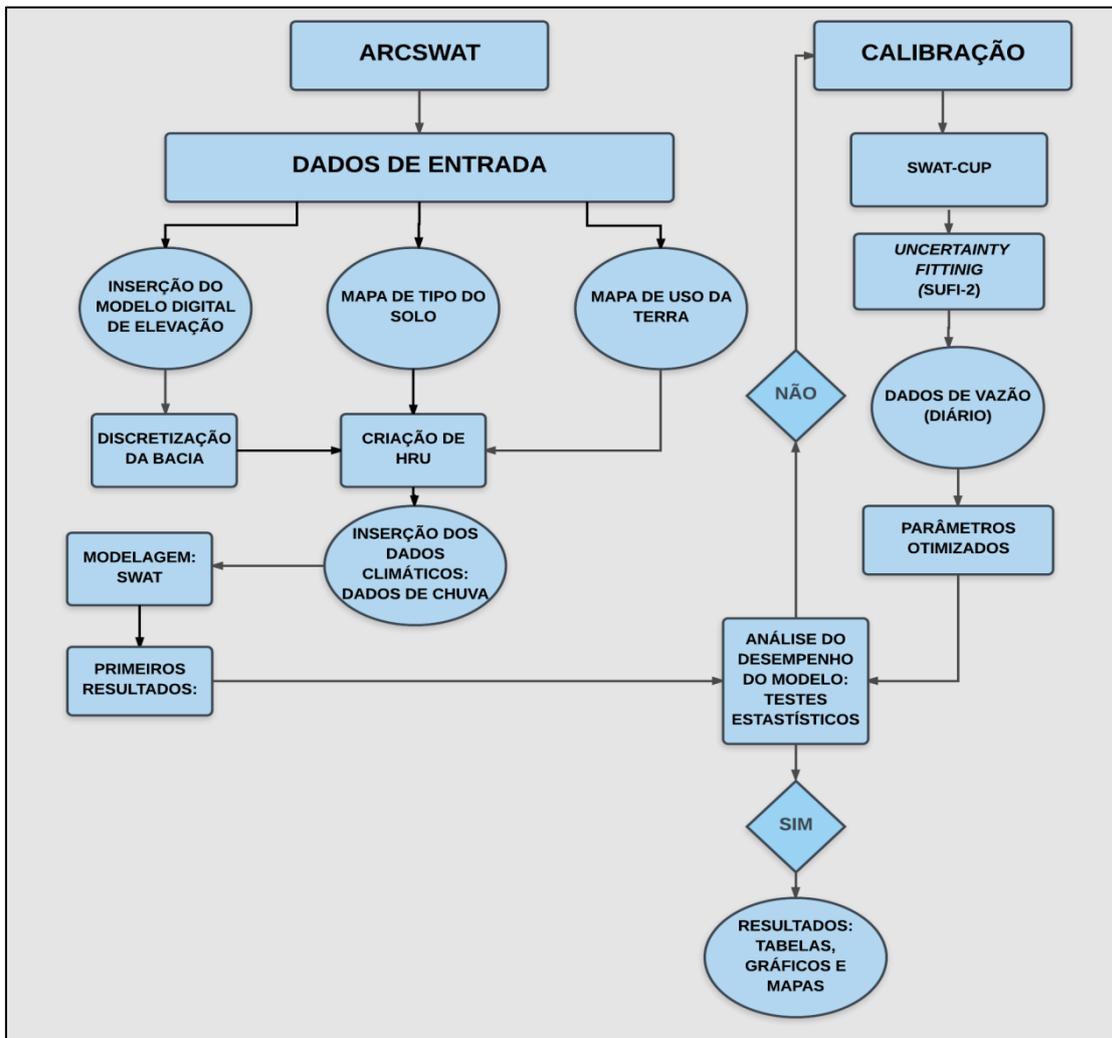
Para estimar a produção de sedimentos, o modelo utiliza a equação proposta por Williams (1975), a Equação Universal de Perda do Solo Modificada (MUSLE). Então a equação (Eq.4) é dada por:

$$Y = a \cdot (Q_{surf} \cdot Q_{peak} \cdot area_{hru})^b \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS \cdot CFRG \quad (4)$$

sendo: Y a produção de sedimentos (t); Q_{surf} o volume do escoamento superficial (mm/ha); q_{peak} o pico de escoamento superficial (m^3/s); $area_{hru}$ a área da unidade de resposta hidrológica (ha); K_{USLE} o fator erodibilidade do solo; C_{USLE} o fator de uso e manejo do solo; P_{USLE} o fator de práticas conservacionistas; LS_{USLE} o fator de topografia e $CFRG$ o fator que considera o afloramento de rocha na área (DANTAS et al., 2015).

Os Próximos tópicos tratam das etapas e dos dados de entrada para o funcionamento do modelo SWAT. A Figura.7 aborda as etapas do funcionamento da modelagem, da inserção dos dados de entrada, a calibração, até os resultados.

Figura 7- Fluxograma com as etapas da modelagem.



Fonte: Autor (2017)

4.3. Construção do banco de dados de entrada no modelo

Para a construção do banco de dados de entrada do SWAT são necessários dados cartográficos e tabulares. Esses dados são usados para que o modelo possa simular os processos físicos existentes na bacia hidrográfica. Contudo, é necessário seguir algumas etapas para a construção do banco de dados de entrada. A primeira é a inserção do MDE e discretização da bacia hidrográfica, depois são inseridos os mapas de tipo de solo, uso do solo

e declividade para a criação das HRU- Unidades de Resposta Hidrológica e por fim é inserido os dados climáticos para o início da modelagem.

4.3.1. Discretização da bacia hidrográfica

Nessa etapa, após a inserção do Modelo Digital de Elevação (MDE), o modelo identifica a direção do fluxo e a área de acumulação do fluxo de escoamento superficial no terreno. Em seguida é gerada a rede hidrográfica com base no MDE, as sub-bacias e os exutórios. Após isso, o modelo delimita a bacia hidrográfica de acordo com a definição do exutório da mesma e calcula os parâmetros relacionados à topografia em cada sub-bacia.

A modelagem dessa bacia foi feita com base na dinâmica natural dos canais de drenagem, pois não foram coletados dados dos reservatórios, impossibilitando a modelagem com a interceptação de fluxo, ocasionada pelos reservatórios.

4.3.2. Unidades de Resposta Hidrológica (HRU), classes de uso da terra e tipos do solo

Como já foi colocado, as HRUs (Unidades de Resposta Hidrológicas) são áreas que agrupam regiões com características físicas homogêneas, com uso da terra, tipo de solo e declividade. O que torna cada HRU única na bacia, pois cada uma tem uma combinação desses fatores de forma diferente, fazendo com que uma área que possua o tipo de solo Neossolo Litólico, declividade de 3% a 8% e vegetação herbácea pertença a uma única HRU, as outras terão que ter a mudança de um desses fatores para ser outra HRU.

As classes de uso da terra foram obtidas através da classificação em imagens de satélite. Como o modelo possui seu próprio banco de dados, com parâmetros que influenciam no escoamento superficial, então foi feita uma associação das classes de uso da terra encontradas na Bacia Representativa de Sumé com as que existem no banco de dados do SWAT (Tabela 4). Como no trabalho foram feitas simulações em dois períodos (1984 e 2015), foi utilizada a mesma classificação para os dois anos, para se ter uma representação mais próxima possível das reais mudanças temporais no uso e ocupação da terra na bacia.

Tabela 4- Associação das classes de uso do solo da Bacia Representativa de Sumé com as classes existentes no banco de dados do SWAT.

Uso da terra na Bacia	Uso da terra no SWAT
Água	<i>Water- WATR</i>
Vegetação Arbustiva	<i>Range Brush-RNGB</i>
Vegetação Herbácea	<i>Range Grass-RNGE</i>
Solo exposto/Agricultura	<i>Barren-BARR</i>
Estrada pavimentada	<i>Transportation- UTRN</i>
Estrada Carroçável	<i>Transportation- UTRN</i>

Fonte: O Autor.

Para inserir os tipos de solos no SWAT foi necessário coletar os parâmetros desses tipos de solo na literatura, pois não foi possível fazer coleta em campo, com isso foram utilizados dados disponíveis em EMBRAPA (2015). Os parâmetros são as propriedades físico-hídricas que fazem parte da estrutura do solo, como as porcentagens de partículas que compõem o solo (areia, silte, argila e cascalho), a profundidade da raiz (SOL_ZMX), profundidade dos horizontes (SOL_Z), entre outros parâmetros que estão presentes na estrutura do solo (DANTAS, 2016).

A coleta foi feita junto ao Sistema de Informação de Solos Brasileiros, da Embrapa. E também foram utilizados parâmetros de áreas com bacias hidrologicamente semelhantes a bacia de Sumé, como foi apresentado na Tabela 5.

Tabela 5- Descrição dos perfis da Embrapa utilizados na pesquisa

Nova Classificação	Código do Ponto de amostragem	Município
Argissolo Vermelho Amarelo	5646	Patos
Luvisolo	7761	Monteiro
Neossolo Flúvico	5684	Patos

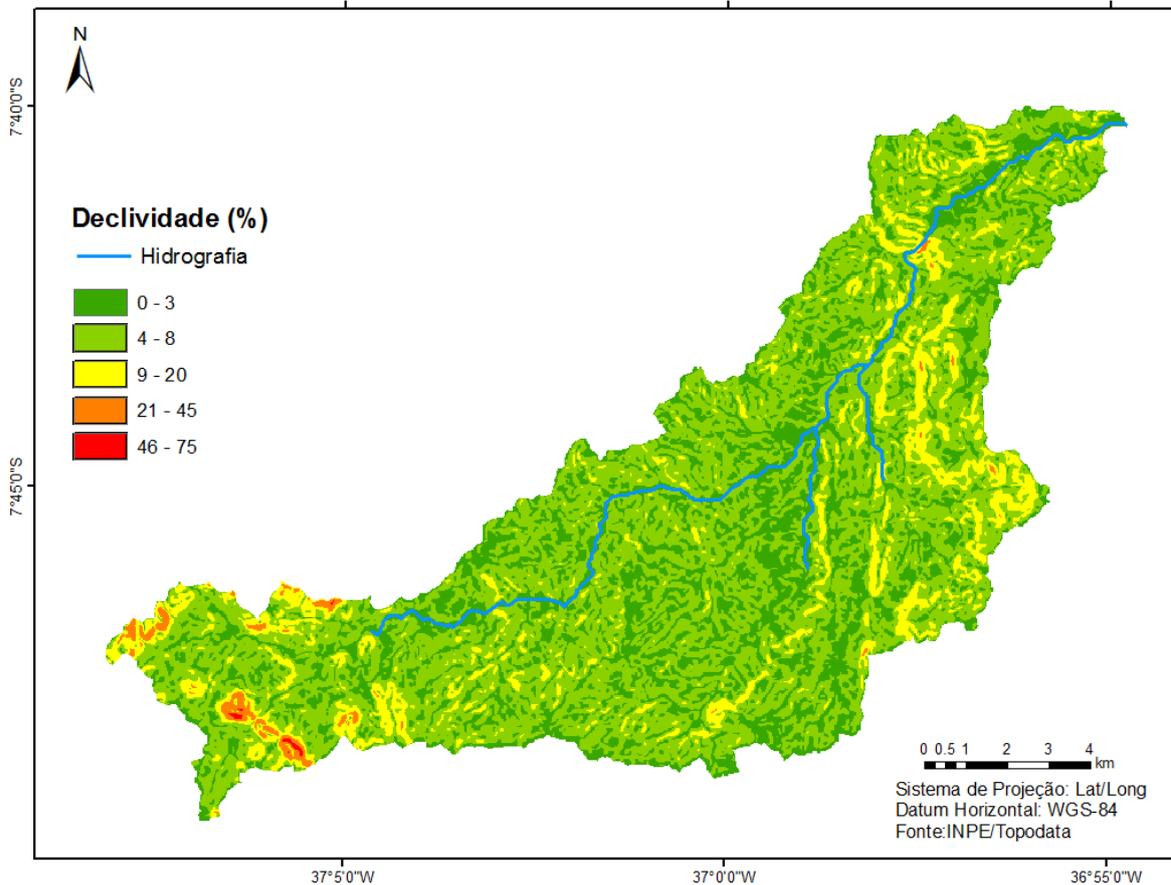
Fonte: O Autor.

4.3.3- Classes de declividade

Para a Classificação de declividade da bacia foi utilizada a proposta pela Embrapa (1979). Assim foram definidas cinco classes, sendo a primeira de 0 a 3 %, a segunda de 3 a 8%, a terceira de 8 a 20%, a quarta de 20 a 45% e a última a partir de 45%, como pode ser observado na Figura 8. Para concluir a criação das HRUs, o modelo necessita que se defina

uma área mínima da HRU e para isso foi definida a área mínima em porcentagem e com um valor de 15% para uso da terra, tipo do solo e a declividade.

Figura 8- Mapa de declividade da Bacia Representativa de Sumé-PB.



Fonte: Autor (2017).

4.4. Análise estatística de desempenho do modelo

Para avaliar o desempenho do modelo quanto ao escoamento superficial simulado e a comparação com os dados observados, foram usados testes estatísticos, como o Coeficiente de Eficiência- COE (NASH e SUTCLIFFE, 1970) e o Coeficiente de Determinação de Pearson (R^2). Onde o COE faz uma análise entre os dados estimados e os observados, podendo variar de -1 a 1, quanto mais próximo de 1 for o resultado melhor será o desempenho do modelo. O COE representado pela Eq. 5.

$$COE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (E_m - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_m - \bar{E}_s)^2} \right) \quad (5)$$

Onde:

- E_{obs} : é o valor do evento observado;
- E_s : é o valor do evento simulado e
- \bar{E} : é o valor médio do evento observado.

Já o Coeficiente de Determinação de Pearson (R^2) calcula a relação linear entre duas variáveis, que nesse trabalho foram valores estimados e observados do escoamento superficial. Do mesmo jeito do COE, o valor varia de -1 a 1, sendo a melhor resposta a que se aproximar do 1 (SILVA et al., 2013) O R^2 é calculado pela Eq.6.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)(x_i - x_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2 \sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}} \right)^2 \quad (6)$$

Sendo:

- y_i : refere-se aos valores estimados pelo modelo;
- y_m : é a média dos valores estimados;
- x_i : refere-se aos valores observados;
- x_m : refere-se a média dos valores observados e
- n : é equivalente ao número de eventos.

4.5. Calibração do modelo

Após a modelagem, foi feito a calibração automática dos parâmetros do modelo, para obter o melhor ajuste da modelagem. A calibração dos parâmetros e a análise de sensibilidade deles, foi feita através do *software* de domínio público SWAT-CUP, desenvolvido por Abbaspour et al. (2007).

Existem cinco algoritmos diferentes que podem ser utilizados na calibração: SUFI-2 (ABBASPOUR, 2004; 2007), PSO (ABBASPOUR, 2012), GLUE (BEVEN e BINLEY, 1992), ParaSol (VAN GRIENSVEN et al., 2006) e MCMC (KUCZERA e PARENT, 1998; MARSHALL et al., 2004; YANG et al., 2007). O algoritmo mais utilizado e escolhido para essa calibração foi o *Uncertainty Fitting* (SUFI-2). (SANTOS, 2015).

Os parâmetros foram escolhidos com base no estudo feito por Dantas (2016) que realizou uma análise hidrossedimentológica para uma área de semiárido com grande compatibilidade com a área desse estudo. Foram utilizados 19 parâmetros, que estão descritos na Tabela.6 e foram necessária 500 interações na calibração, que é o mínimo de interações recomendadas. A calibração permitiu que fossem encontrados os melhores valores desses parâmetros para a dinâmica natural da bacia.

Para realizar a calibração foram utilizados os dados observados de vazão no período de 27 de março de 1977 a 13 de janeiro de 1978, da sub-bacia Gangorra (Sub-bacia.1), pois foi o único período contínuo sem falhas da Bacia. Após a calibração, os valores dos parâmetros foram otimizados para a modelagem dos dois períodos, afim de obter o melhor ajuste do modelo para os resultados da simulação do escoamento superficial e da produção de sedimentos.

Tabela 6- Parâmetros utilizados para a calibração do SWAT.

Parâmetros	Descrição	Equação	Valores dos parâmetros otimizados
Alpha_Bf	Fator de recessão de escoamento de base (dias)	Substituição	0,479
Biomix	Eficiência da mistura biológica do solo (adimensional)	Substituição	0,547
Canmx	Quantidade máxima de água interceptada pela vegetação (mm)	Substituição	2,645
Cn2	Valor da curva número para a condição de solo úmido (adimensional)	Multiplicação	1,0034
Ch_K2	Condutividade hidráulica efetiva do canal (mm/h)	Substituição	4,325
Ch_N2	Coefficiente de Manning do canal (adimensional)	Substituição	0,2973
Epc0	Coefficiente de compensação da absorção de água pelas plantas (adimensional)	Substituição	0,001
Esco	Coefficiente de compensação da evaporação de água no solo (adimensional)	Substituição	0,5465
Gw_delay	Tempo de recarga do aquífero (dias)	Adição	37,590004

Gw_revap	Coefficiente de controle do fluxo da água entre as zonas saturada e não saturada (adimensional)	Substituição	0,17894
Gw_qmn	Profundidade da água subterrânea necessária para ocorrer fluxo de retorno (mm)	Substituição	355
Rchrg_Dp	Fração de água percolada para o aquífero profundo (fração)	Multiplicação	1,03569
Revapmn	Limite de água no solo para que ocorra ascensão capilar na zona saturada (mm)	Substituição	2,95
Ssubbsn	Comprimento da declividade média (m)	Multiplicação	0,9125
Sol_Alb	Albedo do solo (adimensional)	Multiplicação	0,7505
Sol_Awc	Capacidade de armazenamento de água no solo (mm/mm)	Multiplicação	1,2085
Sol_K	Condutividade hidráulica saturada do solo (mm/h)	Multiplicação	1,0365
Sol_Z	Profundidade da camada de solo (mm)	Multiplicação	1,0645
Surlag	Tempo de retardo de escoamento superficial (dias)	Substituição	13,56

Fonte: Adaptado de Dantas (2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira parte dos resultados se refere à análise do uso e ocupação do solo nos anos de 1984 e 2015 na Bacia Representativa de Sumé e uma análise espacial da precipitação na BRS. A segunda parte refere-se aos resultados da modelagem para o escoamento superficial e produção de sedimentos nesta mesma bacia e para o mesmo período de análise do uso e ocupação.

5.1. Análise do uso da terra na bacia do Bacia Representativa de Sumé

A análise do uso e ocupação do solo foi feito com o objetivo de estudar se ocorreram modificações na paisagem da BRS que afetassem os processos de escoamento superficial e da produção de sedimentos. Com isso, foram escolhidos dois anos dentro de um intervalo superior a 30 anos. Assim, foi estudado o uso da terra dos anos de 1984 e 2015. Na Tabela. 7 está descrita a comparação entre as classes de uso nos dois anos em estudo, com a porcentagem de variação, bem como a área real em quilômetros quadrados, para cada classe. Com isso, é possível observar que as classes que menos variaram foram a de Estrada Pavimentada e de Água, com um decréscimo de -0,53% na classe de Água.

Em relação as classes de Vegetação, houve uma expressiva diminuição na classe de Vegetação Arbustiva de -40,61% e um aumento de 7,48% na classe de Vegetação Herbácea. Quanto a classe de Solo Exposto/Agricultura/Pecuária, ocorreu um aumento de 33,16%, sendo a classe com o maior aumento.

Tabela 7- Uso e ocupação da terra da BRS para os anos de 1984 e 2015.

Classes	1984		2015		Variação	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Água	3,43	2,14	2,58	1,61	-0,85	-0,53
Vegetação Arbustiva	82,39	51,49	17,41	10,88	-64,98	-40,61
Vegetação Herbácea	55,31	34,57	67,27	42,04	11,96	7,48
Solo Exposto/Agricultura	18,23	11,39	71,29	44,56	53,06	33,16
Estrada Pavimentada	0,64	0,40	1,15	0,72	0,51	0,32
Estrada Carroçável	–	–	0,30	0,19	–	–
TOTAL	160	100	160	100	–	–

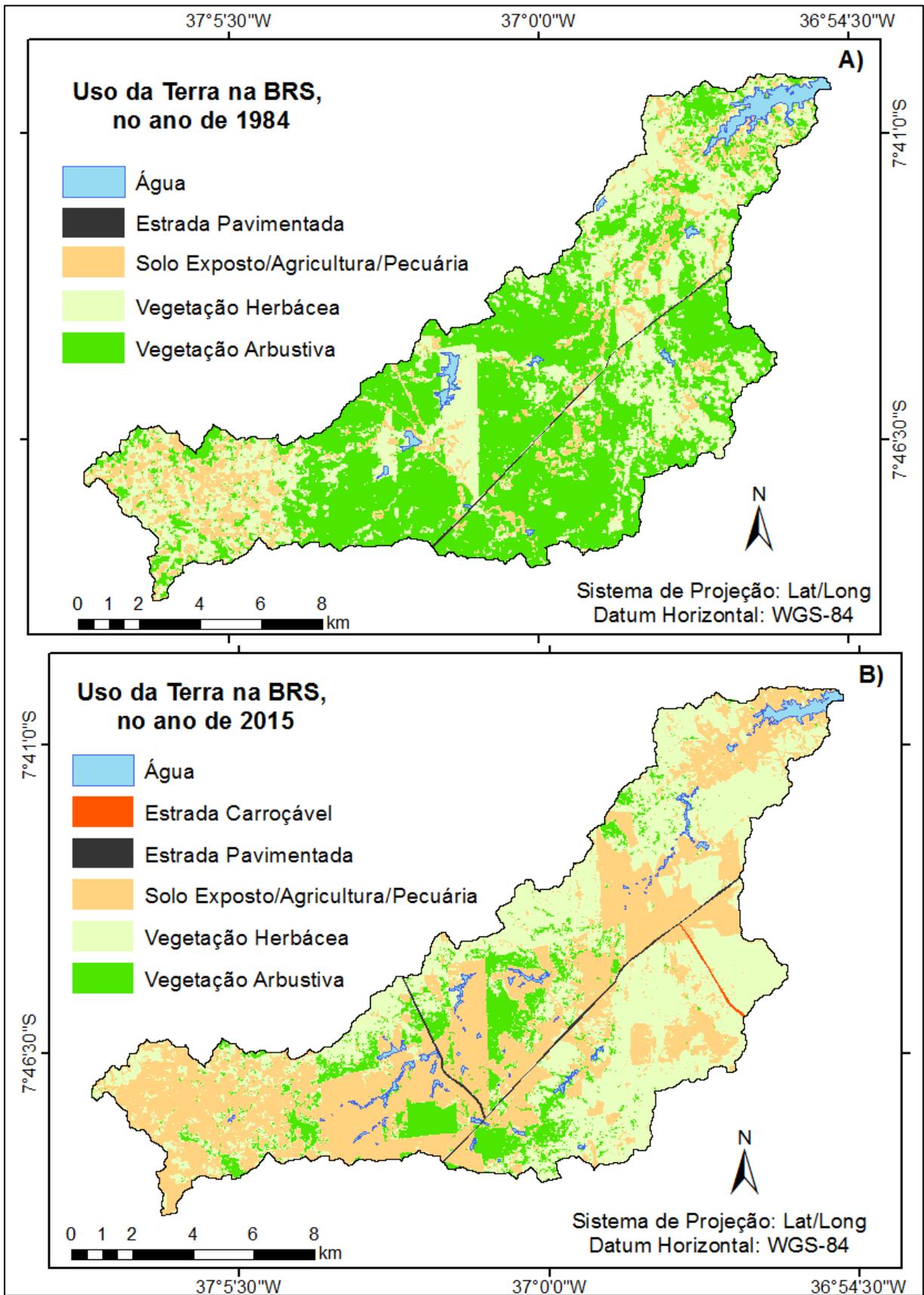
Fonte: O Autor.

Essa variação entre os usos com base em 1984 e 2015, podem ter sido influenciadas pelas políticas públicas na região que a partir da década de 1980, foi influenciada a criação de gado. Considerando que ocorreu essa mudança da paisagem expressa no mapa de uso e ocupação (Figura.9), a diminuição das classes de vegetação e o crescimento da classes de Solo Exposto/Agricultura/Pecuária, representa um cenário de intenso desmatamento, o que acarreta na intensificação dos processos erosivos, causando o aumento da produção de sedimentos.

O que pode ser confirmado por Paiva et al. (2009), ao citar que as formas de uso do solo que mais impactam negativamente a região são: a pecuária extensiva, a exploração de vários tipos de minérios e a extração de lenha para a transformação de carvão. Essas atividades estão gradativamente causando degradação da estrutura superficial da paisagem dessa região. Assim, essas atividades contribuem para o desmatamento da vegetação nativa, deixando o solo exposto a fenômenos naturais (chuva, vento, luz solar).

A Figura 9 refere-se aos mapas com a distribuição espacial do uso e ocupação da terra desses anos, sendo o mapa A para o ano de 1984 e o mapa B para o ano 2015. Onde se é notório essa mudança na paisagem ocorrida na BRS. Como já foi mencionado, o uso da terra com predominância pela pecuária extensiva, pode ter provocado o aumento da retirada da vegetação nativa. Essa pode ser a causa para a mudança tão expressiva da paisagem.

Figura 9- Classes de uso e ocupação da terra da BRS: A) para o ano de 1984 e B) para o ano de 2015.

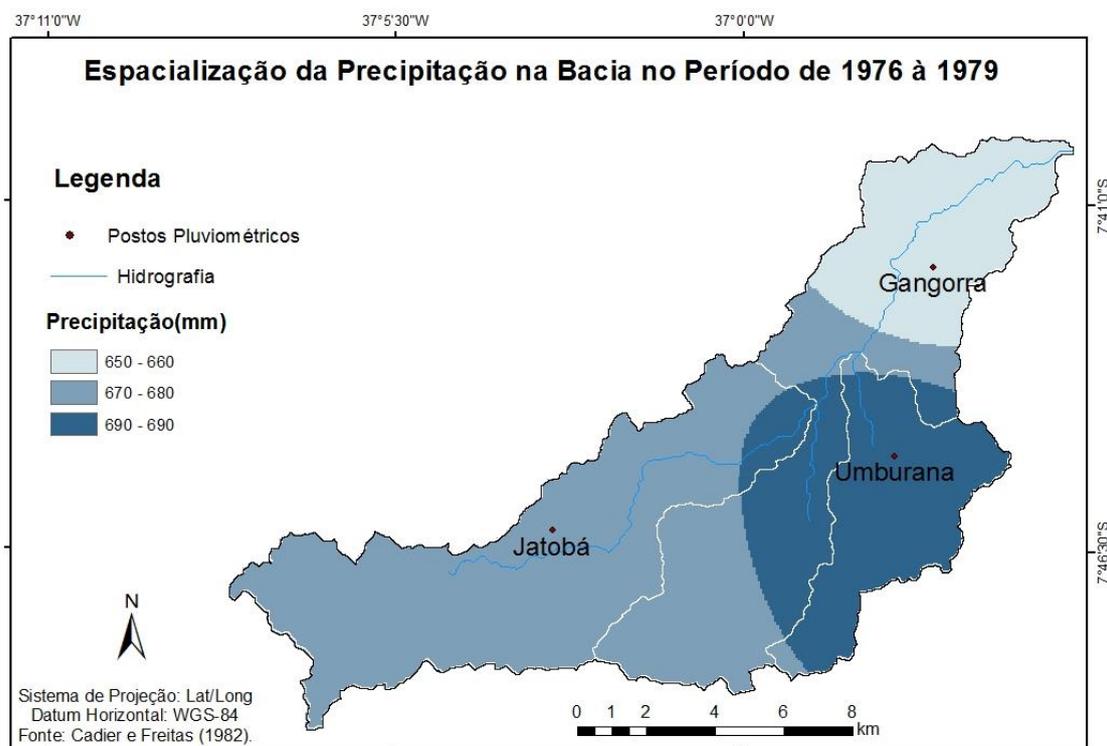


Fonte: Autor (2017).

5.2. Espacialização da precipitação na BRS

A precipitação na Bacia, no período de 1976 a 1979, variou de 650 à 690mm na espacialização por sub-bacias (Figura.10). A Sub-bacia onde mais choveu foi a Umburana (sub-bacia 3) e onde menos choveu foi a Gangorra (sub-bacia1). Segundo Gomes (2001) de 1975 a 1976 e depois de 1979 a 1983 foram períodos de Seca, corroborando com os resultado obtidos na bacia que teve a menor precipitação no ano de 1979 com (503,2 mm) e a maior no ano de 1977 com (798,2 mm).

Figura 10- Espacialização da Precipitação na BRS, no período de 1976 a 1979.



Fonte: Autor (2017).

5.3. Análise das mudanças no escoamento superficial

A partir desse estudo foi possível observar que os processos hidrossedimentológicos de uma bacia hidrográfica localizada no semiárido brasileiro são totalmente influenciados pelos aspectos climáticos da região. Entre esses aspectos estão as precipitações concentradas em um período do ano, fazendo com que as vazões sejam por muitos dias iguais a 0,0 m³/s no período de estiagem e com pico de vazão apenas após chuvas de grande intensidade.

Assim, o modelo SWAT simulou uma vazão média 2,21 m³/s (Tabela 8) com base no uso de 1984 (sem calibração), com os resultados dos testes estatísticos de 0,17 o valor de R² e -0,69 o valor do Nash, o que são considerados valores não satisfatórios segundo Moriasi et al. (2007), que considera valores aceitáveis acima de 0,50.

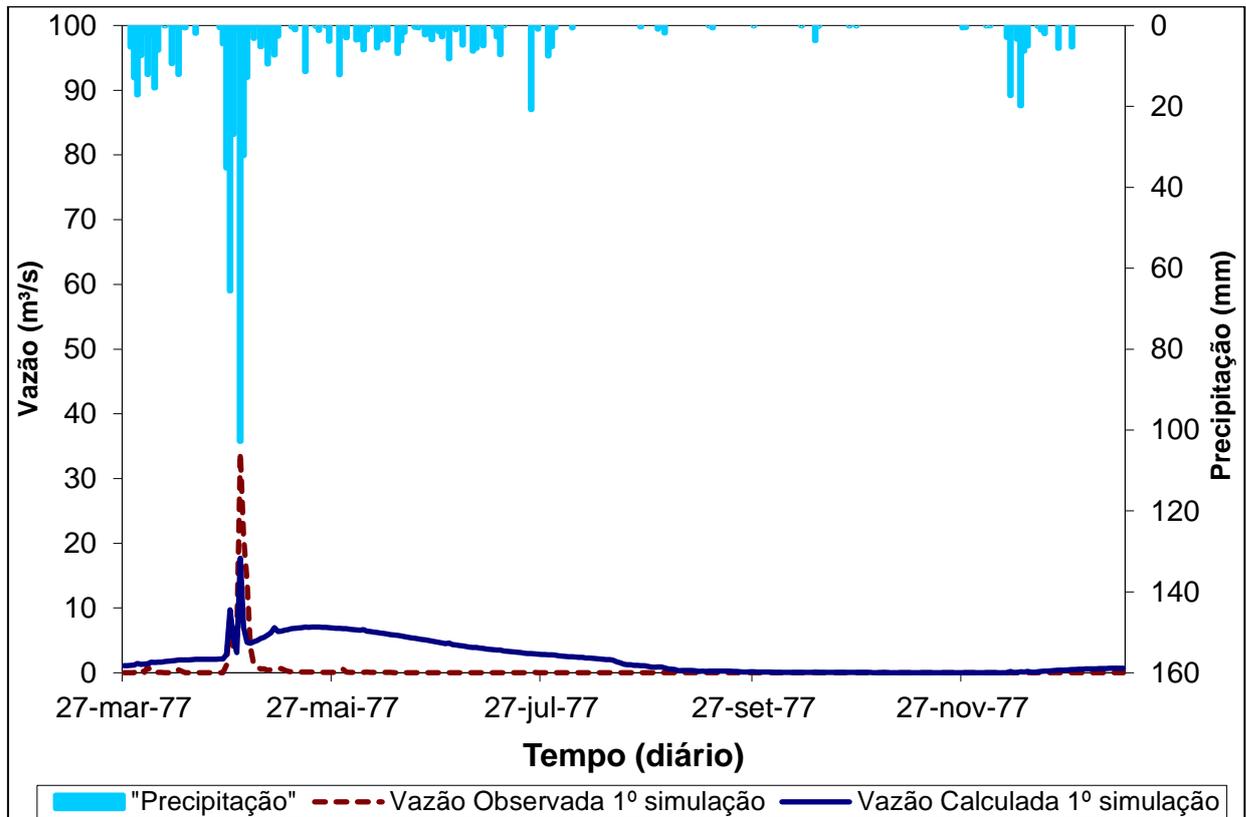
Tabela 8- Tabela com a variação dos testes estatísticos para as simulações.

Simulações	1º simulação (Não calibrada)	Simulação com os parâmetros calibrados, com base no uso 1984	Com base no uso de 2015
R	0,42	0,96	0,76
R²	0,17	0,93	0,58
Nash	-0,69	0,63	-0,41
Média Simulada (m³/s)	2,21	0,27	2,21
Média Observada (m³/s)	0,36	0,36	0,36

Fonte: Autor (2017).

A comparação entre a vazão observada e a vazão simulada (sem calibração) foi demonstrada na Figura. 11. Onde, é possível observar que o modelo superestimou a vazão simulada, em cerca de 600% no período de 27 de março de 1977 a 13 de janeiro de 1978.

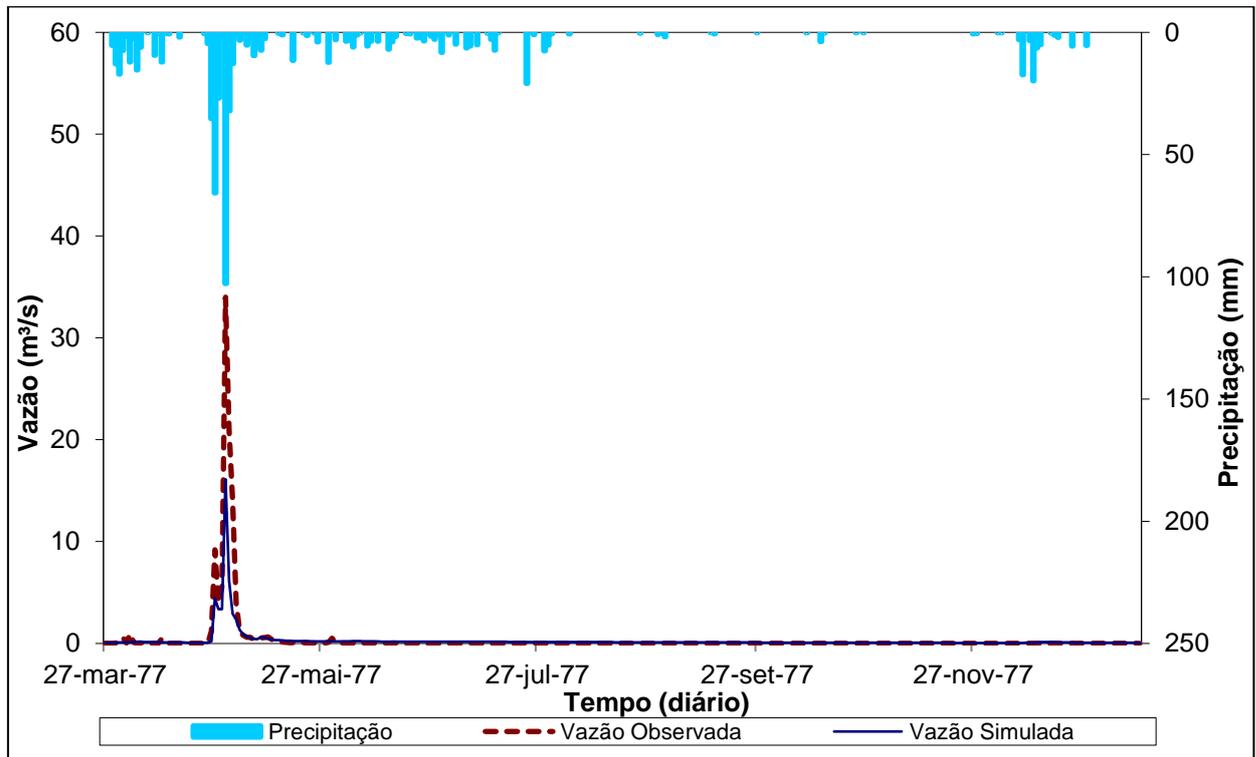
Figura 11- Comparação entre a vazão observada e a vazão simulada (sem calibração).



Fonte: Autor (2017).

Após a calibração houve uma melhora significativa dos resultados, na segunda simulação a vazão média após a otimização dos parâmetros foi de $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$ resultado muito próximo ao valor da média de vazão observada, que foi de $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$. Os resultados dos testes estatísticos foram de 0,93 para o R^2 e 0,63 para o Nash, o que é considerado um resultado satisfatório. A Figura 12 mostra os resultados das comparações entre as vazões simulada com base no uso de 1984 (após a calibração) e a vazão observada, no período usado na calibração, que foi de 27 de março de 1977 a 13 de janeiro de 1978. Essa modelagem foi satisfatória, com os valores de vazão observada e simulada seguindo praticamente os mesmo valores, com uma alteração apenas nos picos.

Figura 12- Comparação a vazão observa e a vazão simulada após a calibração.



Fonte: Autor (2017).

A última simulação foi feita com os mesmos valores da calibração, com os mesmos dados de entrada do modelo, com exceção do mapa de uso e ocupação, que foi com base no ano de 2015.

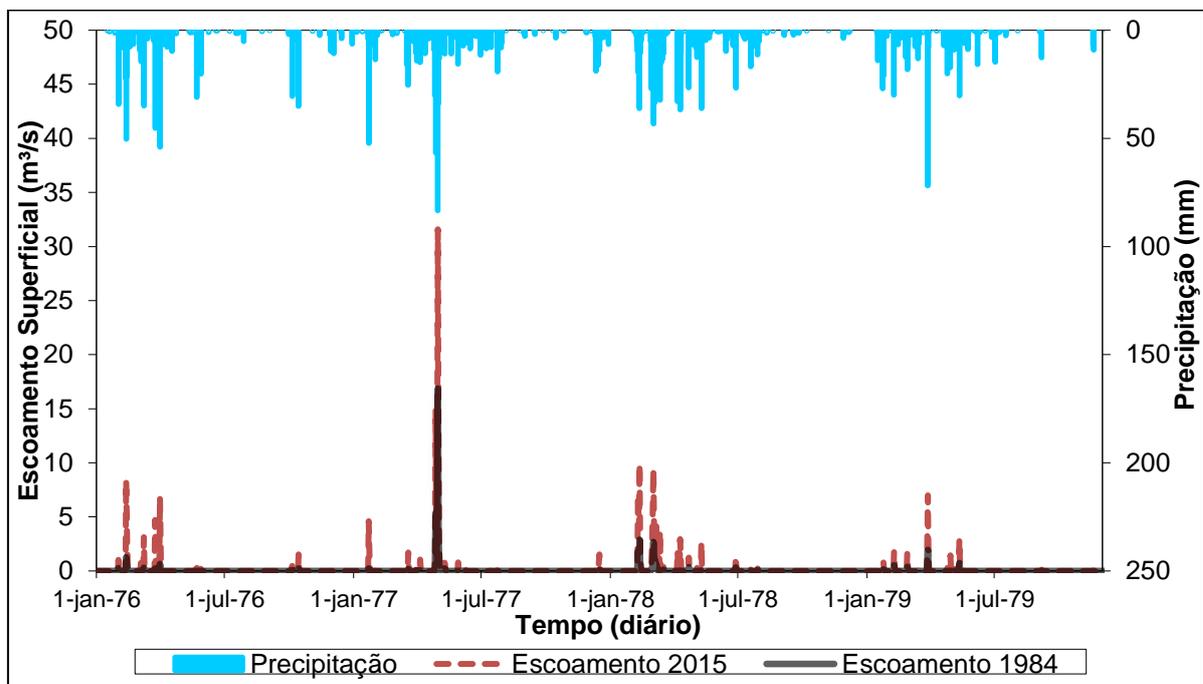
5.3.1-Estimativa do escoamento superficial na Bacia Representativa de Sumé.

A estimativa de escoamento superficial foi feita com base no uso e ocupação da terra de 1984 e de 2015. Para o escoamento com base no uso de 1984 o modelo simulou uma média de 0,034 m³/s, já o escoamento médio com base no uso de 2015 teve um valor médio de 0,143 m³/s, sendo um aumento considerável de 315%. Na figura 13 é possível observar o hidrograma com o escoamento com base no uso de 1984 e o escoamento com base no uso de 2015, para os quatro anos de precipitação utilizadas na pesquisa (1976 a 1979). Onde o escoamento com base no uso de 2015 teve um maior ocorrência e intensidade que o com base em 1984, tendo o aumento no ano de em julho de 1977. Os outros anos tiveram uma ocorrência semelhante.

O ano de 1977 foi ano que mais choveu na bacia, podendo ter relação com o escoamento de maior intensidade ter ocorrido nesse ano. Pois como afirma Vilella e Mattos

(1975) o escoamento superficial pode ser influenciado por diversos fatores como, fatores de natureza climática, que são fatores relacionados a precipitação ou fatores relacionados as características físicas da bacia. Dos fatores relacionados a precipitação destacam-se a intensidade e a duração da chuva (quanto mais rápido o solo “encharcar”, maior será a chance de ocorrer o escoamento superficial); além da precipitação antecedente (quanto mais úmido estiver o solo mais probabilidade de escoar). Em relação aos fatores decorrentes das características físicas, entre os mais importantes estão a área (que influencia a quantidade de água captada), a forma, a permeabilidade do solo, a capacidade de infiltração e a topografia da bacia.

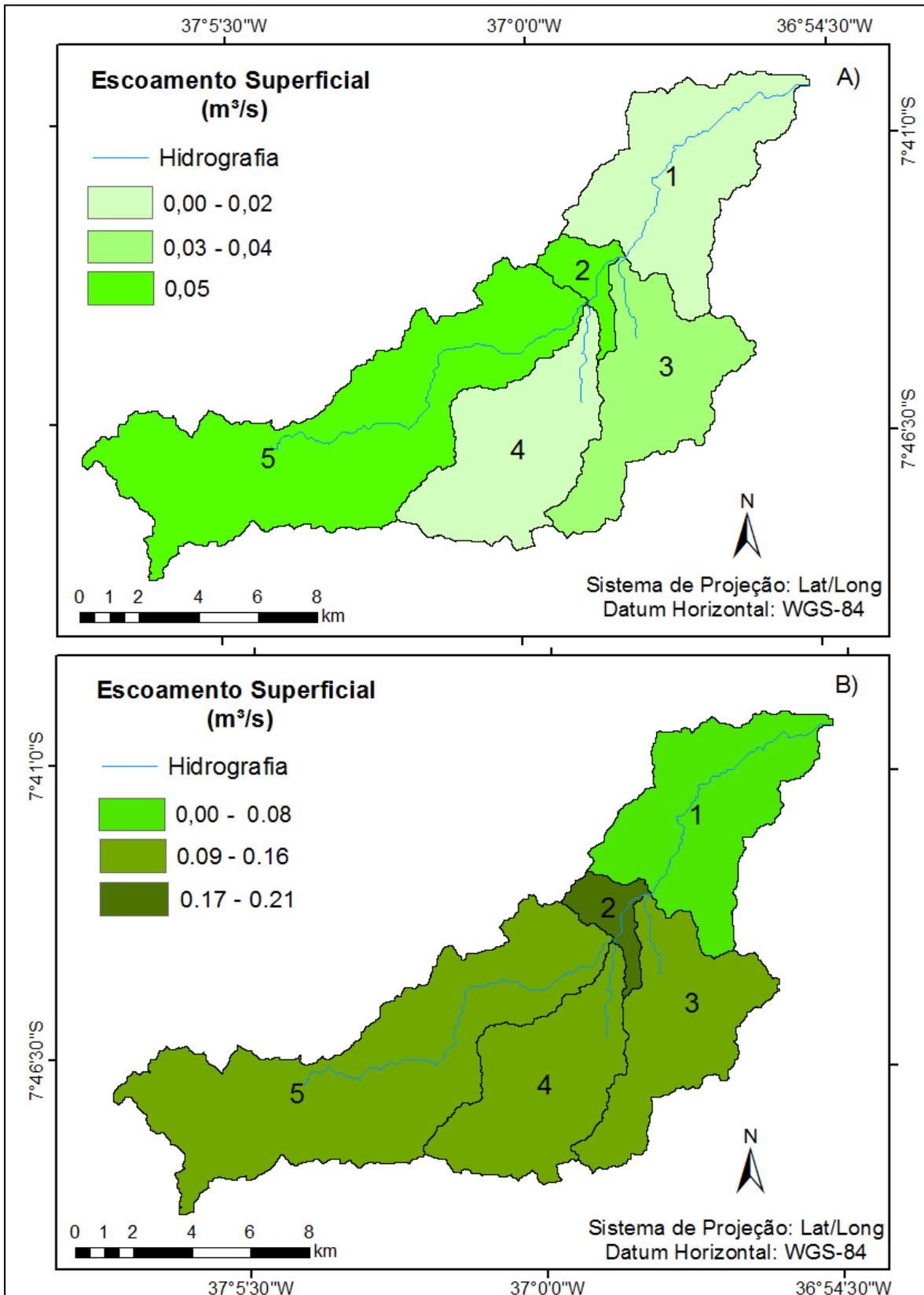
Figura 13- Hidrograma com a comparação entre o escoamento com base no uso de 1984 e o escoamento com base no uso de 2015.



Fonte: Autor (2017).

Com a espacialização dos dados de escoamento superficial nas sub-bacias nas duas realidades estudadas (Figura 14), foi possível identificar que o valor do escoamento médio variou de 0,02 a 0,05 m³/s na primeira realidade (com base no uso de 1984) e de 0,08 a 0,021 m³/s na segunda realidade (com base no uso de 2015), ambos com o período de simulação de 1976 a 1979. As maiores taxas ficaram concentradas no alto curso da bacia, ou seja nas sub-bacias 5 e 2 (com base em 1984) e nas sub-bacias 5,4,3 e 2 no com base no uso de 2015. As áreas do alto curso são as que possuem a maior declividade da bacia, podendo influenciar nesse resultado.

Figura 14- Espacialização do escoamento superficial, nos dois período em estudo, Mapa A) com base no uso de 1984 e Mapa B) com base no uso de 2015



Fonte: Autor (2017).

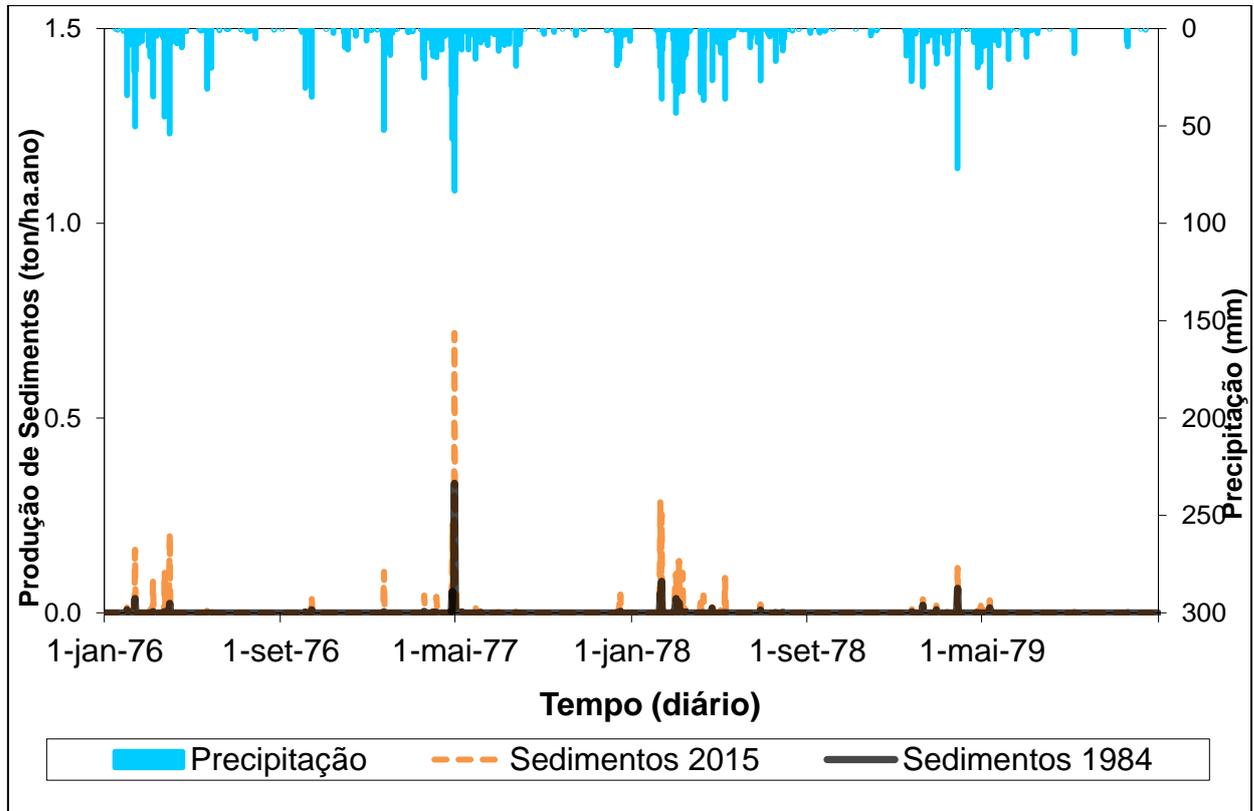
Quanto ao aumento do escoamento superficial com base no uso de 2015(Figura 14B), pode ter relação com a mudança do uso e ocupação do solo, onde houve perda de área de vegetação, fazendo com que a infiltração diminua, fato causado pela interceptação vegetal, aumentando o escoamento. Como afirmam Silva e Santos (2009) ao citar que a cobertura vegetal atua contra a erosão na proteção do solo, comprovando a importância da vegetação nativa, do tipo caatinga, na proteção do solo e interceptando as chuvas, diminuindo assim, o escoamento superficial.

5.3.2- Simulação da produção de sedimentos na Bacia Representativa de Sumé.

Os resultados da produção de sedimentos estimada pelo modelo demonstraram que não foram obtidas grandes taxas de produção de sedimento nessa bacia. Assim como o escoamento a produção de sedimentos também é influenciada por fatores climáticos da bacia, o que demonstrou que mesmo as taxas sendo baixas existem onde houve diminuição da vegetação, que se tornaram vulneráveis a processos erosivos intensos e com uma produção de sedimentos concentrada.

Os resultados mostraram que os valores médios de produção de sedimentos tiveram o valor de 0,63 kg/ha.ano com base na primeira realidade (uso do solo de 1984) e de 2,55 kg/ha.ano com base na segunda realidade (uso do solo de 2015), ocorrendo um crescimento de 307% na simulação com base no uso de 2015. Na Figura 15 é possível visualizar o sedigrama com a comparação entre a produção de sedimento nas das realidades em estudo. Onde ocorreu variação, nas áreas de pico de precipitação, onde o sedimento com base em 2015 alcançou maiores valores, sendo a maior intensidade também concentrada no ano de 1977 (ano com maior valor médio de chuva na BRS).

Figura 15- Sedigrama com a comparação entre a produção de sedimento com base no uso da terra de 1984 e a produção com base no uso de 2015.



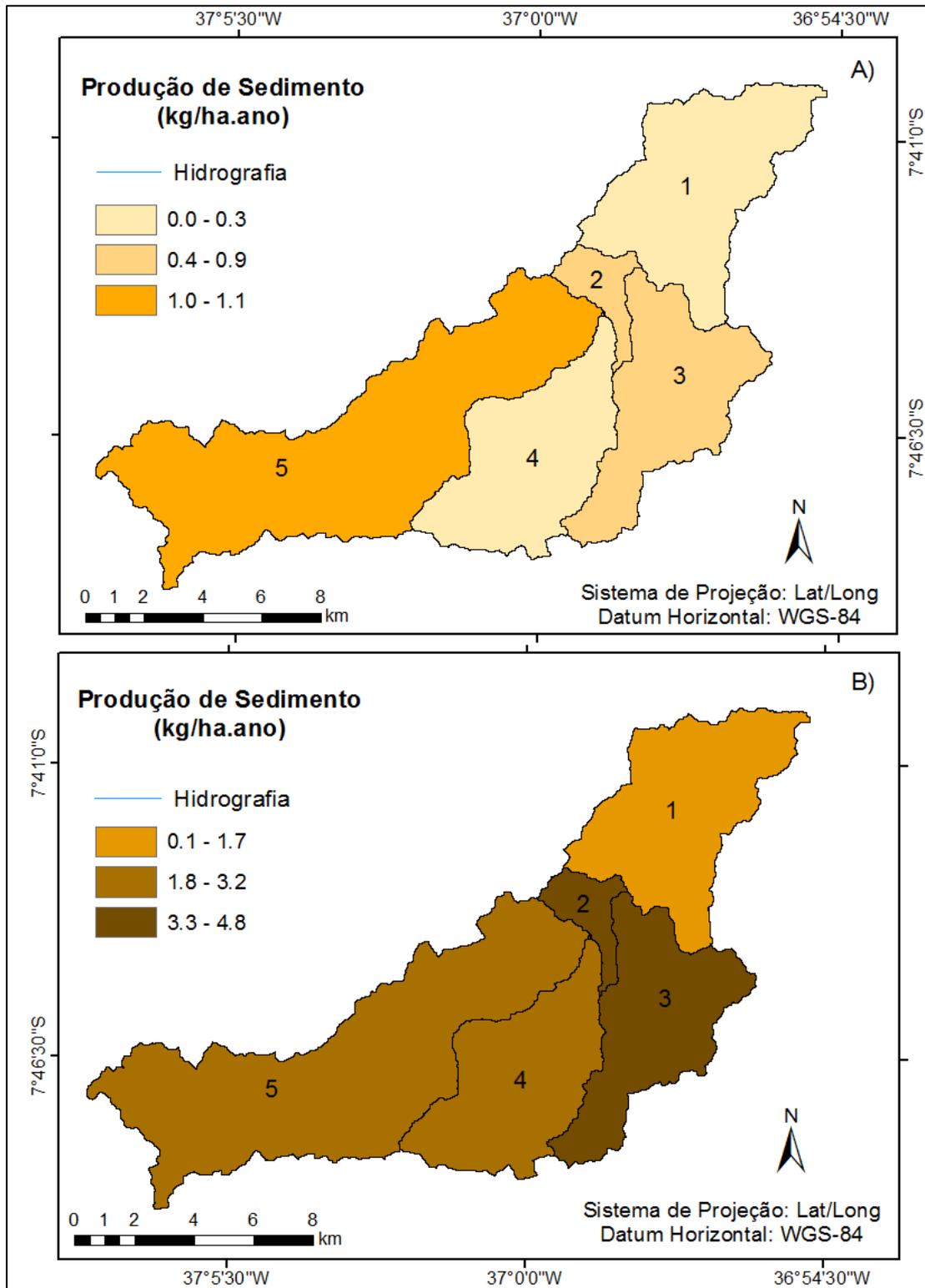
Fonte: Autor (2017).

Quanto a espacialização da produção de sedimento nas sub-bacias para os dois períodos em estudo (Figura 16) foi obtido uma variação de 0,0 a 1,1 kg/ha.ano na simulação com base no ano de 1984 e de 0,1 a 4,8 kg/ha.ano na simulação com base no uso de 2015. Concentrando-se as maiores taxas de crescimento de produção de sedimento na segunda realidade e nas sub-bacias localizadas na região central da bacia, ou seja, nas sub-bacias 2 e 3. Essa região central da bacia foi onde ocorreu a diminuição da classe de vegetação, é onde mais chove na bacia (próximo a sub-bacia Umburana) e é onde predomina o solo do tipo Luvissole Crômico, solo que tem susceptibilidade a erosão segundo Guerra e Botelho (2009).

Esse resultado demonstra a importância da preservação das áreas vegetadas para uma bacia na região semiárida, pois segundo Duley (1939) e Castro et al. (2006) com a preservação das áreas vegetadas e com as práticas de conservação e manejo do solo, a probabilidade dessa área apresentar erosão hídrica é reduzida, pois a cobertura vegetal ajuda a dissipar a energia cinética das gotas de chuva, protegendo a superfície do solo de selamento, assim aumentando a infiltração e diminuindo o escoamento superficial e consequentemente a

erosão hídrica. Além de problemas como, assoreamento dos recursos hídricos, a perda de solo, que leva a perda de nutrientes do solo, podendo tornar até o solo improdutivo.

Figura 16- Espacialização da produção de sedimentos na BRS, nos dois períodos em estudo, Mapa A) com base no uso de 1984 e Mapa B) com base no uso de 2015.



Fonte: Autor (2017).

Esses resultados corroboram com os obtidos por Taveira (2012), que analisou os processos hidrossedimentológicos para a BRS. Segundo os resultados de Taveira (2012), o modelo foi sensível à mudança de uso e ocupação da terra e foi capaz de estimar a produção de sedimentos, mesmo não tendo dados observados.

6. CONCLUSÃO

Com o que foi apresentado é possível concluir que a maior mudança de uso da terra na área em estudo, foi a remoção da vegetação para atividades antrópicas, como a pecuária e outras atividades, o que provocou e provoca a intensificação do processo de erosão, acelerando o escoamento nas áreas sem cobertura vegetal e aumentando a produção de sedimento.

Quanto a espacialização da precipitação na bacia, ficou concentrada na sub-bacia Umurana e no ano de 1977. A chuva concentrada influenciou os processos de escoamento a serem mais intensos no ano de 1977 e as sub-bacias localizadas na parte central, onde está a sub-bacia Umurana a ter uma maior produção de sedimento. Essa região central da bacia foi onde houve a maior mudança de uso da terra, onde ocorreu na segunda realidade em estudo (com base no uso de 2015) a diminuição da classe de vegetação arbustiva em cerca de 40% e o aumento da classe de solo exposto/agricultura/pecuária em cerca de 33%.

Quanto ao modelo SWAT, se mostrou eficiente na modelagem diária de uma pequena bacia. Onde para o escoamento superficial, ocorreu um crescimento de 315% no escoamento com base no ano de 2015. Para a produção de sedimentos, ocorreu um crescimento de 307%, no cenário com base no ano de 2015.

As modificações da paisagem influenciaram na mudança desses processos com base no uso da terra de 2015, ou seja a realidade com mais degradação. Sendo o modelo sensível a mudança de uso da terra. E a partir dos resultados foi visto a importância da preservação da vegetação, para os processos de produção de sedimentos e escoamento superficial, atuando na mitigação desses processos.

Através desta pesquisa foi percebida a importância do uso de SIG para estudo dessa temática, principalmente para um melhor planejamento do uso e cobertura da terra. Além da importância de estudos climáticos com semiárido brasileiro.

7. REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K. C.; JOHNSON, A.; VAN GENUCHTEN, M. T. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. **Vadose Zone Journal**, v. 3, n. 4, p. 1340-1352, 2004.

ABBASPOUR, K. C.; YANG, J.; MAXIMOV, I.; SIBER, R.; BOGNER, K.; MIELEITNER, J.; ZOBRIST, J.; SRINIVASAN, R. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. **Journal of Hydrology**, v. 333, n. 3, p. 413-430, 2007.

ABBASPOUR, K.C. **SWAT-CUP2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs – a user manual**. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 103p, 2012.

ALVERGA, L. H. M. **Levantamento e Cadastro de Bacias Experimentais no Brasil**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016, 77p.

ARAÚJO, S.M. S. de. A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. Rios Eletrônica- **Revista Científica da FASETE**. ano 5 n. 5 . 2011.

ARAÚJO, J. C. de. Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas. In: GHEYI, H. R; PAZ, V. P. da. S.; MEDEIROS, S. de S.; GALVÃO, C. de. O.; (orgs): **Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e aplicações**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012, 282p.

ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; MAIDMENT, D.R (1995). Continuous-time water and sediment-routing model for large basin. **Journal of Hydraulic Engineering**, 121(2): 171-183.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo, Ícone, 2005. 355p.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico**. Revista RAEGA, Editora UFPR, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

BEVEN, K.; BINLEY, A.; The Future of Distributed Models - Model Calibration and Uncertainty Prediction. **Hydrological Processes**,1992, 6(3): 279-298.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Universitária da UFRGS/ABRH, 2014, p. 915-943.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. A Questão da Água no Nordeste. Brasília, DF: **CGEE/ANA**, 2012. 432 p.

BROWN, L.C.; BARNWELL, T.O. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual. Env. **Res. Laboratory**. US EPA, EPA /600/3-87/007, Athens, GA, 1987,189p.

CADIER, E; FREITAS, B. J. de. **Bacia Representativa do Sumé: primeira estimativa dos recursos de água**. Recife: SUDENE, 1982. 195 p.

CAMPOS, H. L. **Gestão de bacia hidrográfica: pressupostos básicos**. In: SÁ, A. J.; CORRÊA, A. C. B. Regionalização e análise regional: perspectivas e abordagens contemporâneas. Recife: Editora Universitária, 2006. p. 91-111.

CARVALHO NETO, J. G. **Simulação hidrossedimentológica da bacia do riacho dos namorados com o modelo SWAT**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011. 218p.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.3, p. 339-352, 2006

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1981. 297p.

COELHO NETTO, A.L **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia** In: GUERRA A. J. T.; CUNHA S. B (orgs): Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

DANTAS, J. C. **Processos Hidrossedimentológicos na Bacia do Rio Taperoá**. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016, 80p.

DULEY, F. L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Science Societed of American Journal**, v. 4, n. 1, p. 60-64, 1939.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de Informação de Solos Brasileiros**. 2015. Disponível em: <<http://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: Outubro de 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos (SNLCS, Miscelânea, 1), Rio de Janeiro, RJ: 1979, p. 83.

FINKLER, R. Planejamento, manejo e gestão de bacias hidrográficas. Unidade 1, apostila didática. **Projeto água e gestão. Itaipu Binacional, ANA**, s.d. Disponível em

<http://www.planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf> Acesso em: setembro de 2017.

FINOTTI, A.R.; FINKLER, R.; SILVA, M.D.; CEMIN, G. Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas. Caxias do Sul: EDUCS, 2009. 270 p.

GOMES, G. M. **Velhas secas em novos sertões**: continuidade e mudanças na economia do semi-árido e dos cerrados nordestinos. Brasília: IPEA, 2001.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão dos solos**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009, 181-227p.

HENRIQUES, I. G. N.; SILVA, L. P.; SILVA, R. M. Análise espacial dos processos hidrossedimentológicos na bacia do rio Taperoá-PB. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2017, Campinas. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas: UNICAMP, 2017. p. 5158 - 5169

HUDSON, N. **Soil Conservation**. Cornell University Press. Ithaca, New York, 1981. 324 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal Cidades 2016**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=251630>>, Acesso em: Outubro de 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: Outubro de 2015.

JACOMINE, P. K.T.; **A Nova Classificação Brasileira de Solos**, Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2008-2009. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19350/1/Jacomine.pdf>>. Acesso em: Setembro, 2017.

KEMANIAN, A.R.; JULICH, S.; MANORANJAN, V.S.; ARNOLD, J.G. Integrating soil carbon cycling with that of nitrogen and phosphorus in the watershed model SWAT: Theory and model testing. **Ecological Modelling**, 222(12): 1913-1921, 2011.

KNISEL, W. G.; STILL, D. A GLEAMS: Groundwater loading effects on agricultural management systems. **Transactions of the ASABE**, 30(5): 1403-1418, 1987.

KNISEL, W.G. CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. Conservation Research Report No. 26. Washington, D.C.: USDA National Resources Conservation Service, 1980.

KUCZERA, G.; PARENT, E.. Monte Carlo assessment of parameter uncertainty in conceptual catchment models: the Metropolis algorithm. **Journal of Hydrology**, 1998, 211(1-4): 69-85, 1998.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L. Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT. **Revista Ambiente & Água**, v. 5, n. 2, 2010.

LEONARD, R. A., KNISEL, W. G.; STILL, D. A. GLEAMS: Groundwater loading effects on agricultural management systems. **Transactions of the ASABE**, 1987, 30(5): 1403-1418.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (orgs): **Conceitos de Bacias Hidrográficas, Teorias e Aplicações**. Editora UESC (Universidade Estadual de Santa Cruz), Ilhéus, Bahia, Brasil, 2002.

MARCELINO, L. **Transporte de Sedimentos em Suspensão nos Rios Catarinenses. Monografia (Engenharia Sanitária e Ambiental)**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2009, 71 p.

MARSHALL, L.; NOTT, D.; SHARMA, A. . A comparative study of Markov chain Monte Carlo methods for conceptual rainfall-runoff modeling. **Water Resources Research**, ,40: W02501, 2004.

MEDEIROS, I. C de; SILVA R. M. Análise da erosão hídrica na região semiárida da Paraíba usando o modelo SWAT acoplado a um SIG. **Geociências**, v. 33, n. 3, p.457-471, 2014.

MOREIRA, E.; TARGINO, I. Espaço, capital e trabalho no campo paraibano. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, p. 147-160, 2011.

MORIASI, D. N; ARNOLD J. G; VAN LIEW M. W; BINGER R. L; HARMEL R. D; VEITH T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, p. 885-900, 2007.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 1, p. 282-290, 1970.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. **Soil and water assessment tool: Theoretical documentation - version 2009**. Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Research Service; Blackland Research Center - Texas Agricultural Experiment Station, 2011, 647p.

OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências**, v. 28 , n. 4, p. 417-424, 2009.

PAIVA, J. B. D. de.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 625 p.

PAIVA, L. A. N.; SILVA, F. M.; NASCIMENTO, P. S.R. Uso de imagens MODIS e TM para a detecção de áreas degradadas na sub-bacia do Taperoá-PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, **Anais...**, Viçosa: UFV, 2009.

PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL, 2011. Disponível em: < http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_territorio159.pdf> Acesso em: Outubro de 2016.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxionomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. São Paulo: n. 6. 1992. 17-29p.

SAMPAIO, E. V. S. B. SAMPAIO; Y. VITAL, T. ARAÚJO, M. S. B. SAMPAIO, G. V. **Desertificação no Brasil**- Conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. S. (2007). Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semiárido da Paraíba. **OKARA: Geografia em Debate**, v.1, n.1, p.16-32.

SANTOS, J. Y. G. **Análise espaço-temporal de processos hidrossedimentológicos na bacia do Rio Tapacurá (Pernambuco, Brasil)**. 2015. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE.

SCHMIDT, D. M.; MATTOS, A. Dinâmica dos regimes de precipitação e vazão da bacia hidrográfica do Alto Piranhas-Açu / PB. **Revista Sociedade e Território**, Natal, v. 25, nº 2, EDIÇÃO ESPECIAL, p. 67-77, jul./dez. 2013.

SILVA, M. A.; DANTAS, J. C.; SILVA, R. M. Simulação da vazão e produção de sedimentos usando o modelo SWAT para a bacia do Rio Taperoá-PB. In: **XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. 1. Anais... João Pessoa: ABRH, 2014.

SILVA, R. M.; PAIVA, F. M. de L.; SANTOS, C. A. G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na Bacia do Rio Capiá baseado em SIG e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, n.1, p. 26-40, 2009.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; Influência da Cobertura Vegetal nos Processos Hidrossedimentológicos no Semiárido do Nordeste, Brasil. *Revista Perspectiva Geográfica*. Nº 5, Vol. 1 e 2, 2009.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, V. C. L.; SILVA, L. P.). Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. . **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 8, 2013, p. 8977-8990.

SISTEMA DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO DO E DO CONHECIMENTO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SIGSAB). Sistema Básico de Informação. Disponível em : <http://sigsab.insa.gov.br/basico> Acesso em: Outubro de 2017.

SOUZA, B.I. **Cariri Paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. 198f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008

SOUZA, J. O. P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido bacia do açude do saco, Serra Talhada- PE**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2014, 191p.

SRINIVASAN, V S.; SANTOS, C. A. G; GALVÃO, G. O. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: A experiência na bacia experimental de Sumé. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.57-73, 2003.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2003, 400p.

TAVEIRA, I. M. L. de M. **Avaliação de alternativas de uso do solo através da simulação hidrossedimentológica da Bacia Representativa de Sumé com o modelo SWAT**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal De Campina Grande, Campina Grande, 2012, 158p.

VAN GRIENSVEN. A.; MEIXNER. T.; GRUNWALD. S.; BISHOP. T.; DILUZIO. M.; SRINIVASAN. R. A global Sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. **Journal of Hydrology**, 324: 10–23, 2006.

VILLELA, S. W.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975, 244p.

WILLIAMS, J.R. **Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor**. In: USDA-ARS, ed. Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. Washington, p.244-252, 1975.

WILLIAMS, J.R.; JONES, C.A.; DYKE, P.T. The EPIC model and its application. Proc., ICRISAT-IBSNAT-SYSS **Symposium on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer**, 111–121, 1984

WILLIAMS, J.R; NICKS, A.D.; ARNOLD, J.G. Simulator for water resources in rural basins. **Journal of Hydraulic Engineering**, 111(6): 970-986, 1985.

YANG, J.; REICHERT, P.; ABBASPOUR, K.C.; YANG, H. Hydrological Modelling of the Chaohe Basin in China: Statistical Model Formulation and Bayesian Inference. **Journal of Hydrology**, v. 340: 167-182, 2007.