



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

PAULO SÉRGIO DE ARAÚJO FILHO

**CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO ROCHOSO PARA
AS ÁREAS DE ENTORNO NO CARIRI - PB**

**JOÃO PESSOA
2018**

PAULO SÉRGIO DE ARAÚJO FILHO

CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO ROCHOSO PARA AS
ÁREAS DE ENTORNO NO CARIRI-PB

Artigo apresentado à disciplina de Pesquisa Geográfica da Universidade Federal da Paraíba, como um dos pré-requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza

JOÃO PESSOA
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE GEOGRAFIA

Resolução N.04/2016/CCG/CCEN/UFPB

PARECER DO TCC

Tendo em vista que o aluno (a)

Paulo Sérgio de Araújo Filho

(X) cumpriu () não cumpriu os itens da avaliação do TCC previstos no artigo 25º da Resolução N. 04/2016/CCG/CCEN/UFPB somos de parecer (X) favorável () desfavorável à aprovação do TCC intitulado:

Influências das áreas de afloramento rochosos para a dinâmica hídrica da Fazenda Salambata, Cariri-PB.

Nota final obtida: 9,3

João Pessoa, 30 de maio de 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Bartolomeu José de Souza
Professor Orientador

Professor Co- Orientador (Caso exista)

p/ Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Membro Interno Obrigatório (Professor vinculado ao Curso)

João Paulo de Sousa
Membro Interno ou Externo

AGRADECIMENTOS

Ao longo da minha trajetória acadêmica, diversas pessoas participaram de formas diferentes e a elas devo meu muito obrigado, pois foi através de suas presenças, que tive a motivação necessária para completar o curso.

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sempre guiado meus passos e me protegido de todo o mal, sem ele, nada disso seria possível.

Aos meus Pais, meu bem mais precioso, devo todo o carinho e cuidado que tiveram comigo, que mediante aos seus esforços, foram suporte para que eu pudesse ter tempo e condições para me doar ao máximo, tudo o que sou, devo aos seus ensinamentos.

Minha família que foram meu apoio moral e sentimental, sempre presentes na minha vida. Em especial ao meu falecido avô, que foi o maior incentivador de tudo isso, o qual sinto muita saudade.

A Bartô, meu orientador, que aceitou esse desafio e foi o melhor orientador que eu poderia ter, passando parte do seu conhecimento e me incentivando a ir além na vida acadêmica, sua paciência e disponibilidade mostraram que além de excelente profissional, é uma excelente pessoa.

Aos amigos do LAESA que através de suas experiências acadêmicas me ajudaram com os percalços da pesquisa, compartilhando conhecimento e aprendendo junto as riquezas do Cariri.

Aos meus amigos da Universidade que alegraram meus dias e dividiram as angustias da vida acadêmica e aos demais amigos, que foram tão importantes quanto, obrigado por fazerem parte da minha vida.

“Em um lugar escuro nos encontramos, e um pouco mais de conhecimento iluminará nosso caminho”. – Mestre Yoda.

CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA DAS ÁREAS DE AFLORAMENTO ROCHOSO PARA AS ÁREAS DE ENTORNO NO CARIRI-PB

Paulo Sérgio de Araújo Filho
Universidade Federal da Paraíba

Resumo

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Salambaia, localizada no espaço rural dos municípios de Cabaceiras e Boa Vista, na região do Cariri paraibano, onde o clima seco e a escassez hídrica se fazem presentes como parte da estrutura dos ambientes existentes. Elaborada como uma pesquisa exploratória, foi embasada na aplicação do instrumento metodológico modelo de produção de águas sazonais do *software* InVEST, frente a necessidade de se estimar o efeito da gestão da paisagem no serviço de abastecimento de água, especialmente durante a estação seca. A partir dos dados em *raster* de precipitação, evapotranspiração, modelo digital de elevação, uso e ocupação do solo e grupo hidrológico dos solos, limitados pela bacia de drenagem em conjunto com as tabelas biofísicas e de eventos de chuva, foram modelados e gerados mapas que representam o potencial de água gerada para cada pixel em toda a área de estudo, incluindo a contribuição relativa de uma parcela de terra para geração de infiltração e escoamento superficial em médias anuais, como também a capacidade que cada pixel tem, com determinada taxa de aporte de água, para formar fluxos de base. Como resultado geral, a aplicação da metodologia permitiu identificar e analisar o papel dos afloramentos rochosos do tipo lajedo em relação a dinâmica hídrica da área de estudo.

Palavras-chave: Cariri; Dinâmica Hídrica; InVEST; Lajedo.

HYDRIC CONTRIBUTION OF ROCKY OUTCROPS AREAS FOR THE SURROUNDINGS AREAS IN CARIRI-PB

Abstract

The research was developed on the Salambaia farm, located in the rural areas of cities of Cabaceiras and Boa Vista, in the region of the Cariri of Paraíba, where dry climate and water scarcity are present as part of the structure of its environments. Elaborated as an exploratory research, it was based on the method application of the InVEST Seasonal Water Yield software, considering the necessity to estimate the effect of landscape management in the water supply service, especially during the dry seasons. It was based in raster data of Precipitation, Evapotranspiration, Digital Elevation Model, Land Use and Occupation and Soil Hydrological Group, and limited by the drainage basin, together with the biophysical tables and rain events, maps were generated to represent the water potential generated for each pixel in the entire study area, including the relative contribution of a parcel of land to infiltration and runoff in annual averages, as well as the capacity that each pixel has, with a contribution rate to baseflow. As a general result, the application of the methodology allowed to identify and analyze the role of rocky outcrops of the lajedado type in relation to the water dynamics of the study area.

Keywords: Cariri; Hydrical Dynamics; InVEST; Lajedo.

1. INTRODUÇÃO

Os serviços ecossistêmicos são definidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas e os efeitos diretos e indiretos das contribuições destes para o bem-estar humano (AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005).

A dinâmica hídrica é capaz de fornecer serviços ecossistêmicos cruciais para a sociedade, haja visto que a água é um recurso natural indispensável para a sobrevivência do homem e dos demais seres vivos, sendo fundamental para uma grande gama de processos e atividades.

No caso das zonas semiáridas, onde o clima seco e a escassez hídrica se fazem presentes como parte da estrutura dos ambientes existentes, a adaptação da sociedade local a essas características é uma questão fundamental para a sua sobrevivência. Desta forma, a ocorrência da água e a forma como ela é apropriada pela sociedade (transformando-a em recursos hídricos) são centrais para o entendimento da dinâmica da natureza e da sociedade desta região (INSA, 2011).

De forma geral, a avaliação da problemática hídrica deve ir além do simples balanço entre oferta e demanda, devendo abranger também os inter-relacionamentos entre os recursos hídricos com as demais peculiaridades geoambientais e socioculturais da região.

A exploração dos recursos naturais que permitiu à humanidade satisfazer suas necessidades básicas e não básicas, tendo em vista alcançar e garantir a qualidade de vida da sociedade, gerou uma transformação sobre a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, com os quais o homem vem se defrontando desde as últimas décadas do século XX, conhecido desde então como impacto ambiental (AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005).

Essa problemática vem sendo responsável por um crescente questionamento às bases filosóficas em que se alicerçam a relação homem x natureza, que, a partir de então dava claros sinais de crise e esgotamento. No plano científico, isso repercutiu numa incorporação, cada vez mais crescente, da Teoria Geral dos Sistemas no arsenal teórico-metodológico de diversos ramos do conhecimento, entre eles a Geografia (MARQUES NETO, 2008).

A Teoria Geral dos Sistemas é essencial para a interpretação e explicação da complexidade que envolve a organização de um sistema espacial, pois para que se haja uma interpretação integrada da natureza, é necessário se ter uma visão mais abrangente sobre a área de estudo, que escapam da óptica reducionista (MARQUES NETO, 2008; VICENTE e PEREZ FILHO, 2003). Nesse contexto,

O todo deve ser considerado como sendo algo mais que a simples soma das partes, as interações entre os atributos formadores lhes confere caráter dinâmico e não-linear e a fragmentação do objeto implica num obscurecimento das relações de interdependência entre as partes de um todo, e que constituem a realidade principal. (BRANCO, 1989 p.70 apud MARQUES NETO, 2008).

A aplicação e o aprimoramento dos estudos sistêmicos somando-se aos conceitos próprios das geociências auxiliaram a Geografia a transcender as limitações do método cartesiano em busca de uma nova epistemologia. A partir disso, diversos autores de diferentes áreas se utilizaram desse conceito em seus trabalhos, assumindo uma necessidade latente de sistematização e visão holística do objeto de estudo (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

Os ecossistemas de zonas áridas e semiáridas são prioridade nesse cenário devido a esses ecossistemas serem particularmente frágeis, mas também são os lugares onde a população humana está crescendo mais rapidamente, mesmo com suas características bastante severas para o desenvolvimento da vida humana, onde a produtividade biológica é menor e a pobreza é maior (AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005). Nesse sentido fica evidente que devem ser melhor trabalhadas formas de amortizar a problemática da água no semiárido, afim de alcançar e garantir qualidade de vida para a sociedade.

Para gerenciar os recursos hídricos, primeiramente se faz necessário entendê-los. Os *softwares* que trabalham com modelos hidrológicos, tem como objetivo quantificar e visualizar os serviços ecossistêmicos ligados a dinâmica hídrica de uma dada paisagem. Essas ferramentas auxiliam os decisores a tomarem decisões mais sustentáveis no que tange o uso fruto da água e dos serviços ecossistêmicos que ela pode fornecer.

A aplicação de um modelo hidrológico como instrumento metodológico da pesquisa, se faz necessário frente à constatação de que existe uma lacuna a ser preenchida, identificada pela escassez de trabalhos sobre serviços ecossistêmicos em regiões do semiárido brasileiro e mais especificamente sobre a importância ambiental de alguns ecossistemas no combate a escassez hídrica. É importante nesse processo, ter uma abordagem que reconheça o papel integral da geodiversidade como parte fundamental da natureza, não apenas como plano de fundo (GRAY, 2011).

Em função do exposto, esse trabalho teve o objetivo de identificar e analisar o papel dos afloramentos rochosos do tipo lajedo em relação à dinâmica hídrica em parte da região do Cariri paraibano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

A Pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Salambaia, a partir do recorte da bacia hidrográfica, localizada no espaço rural do município de Cabaceiras, inserido geograficamente na região do Cariri paraibano (Figura 1), no centro-sul do estado da Paraíba.

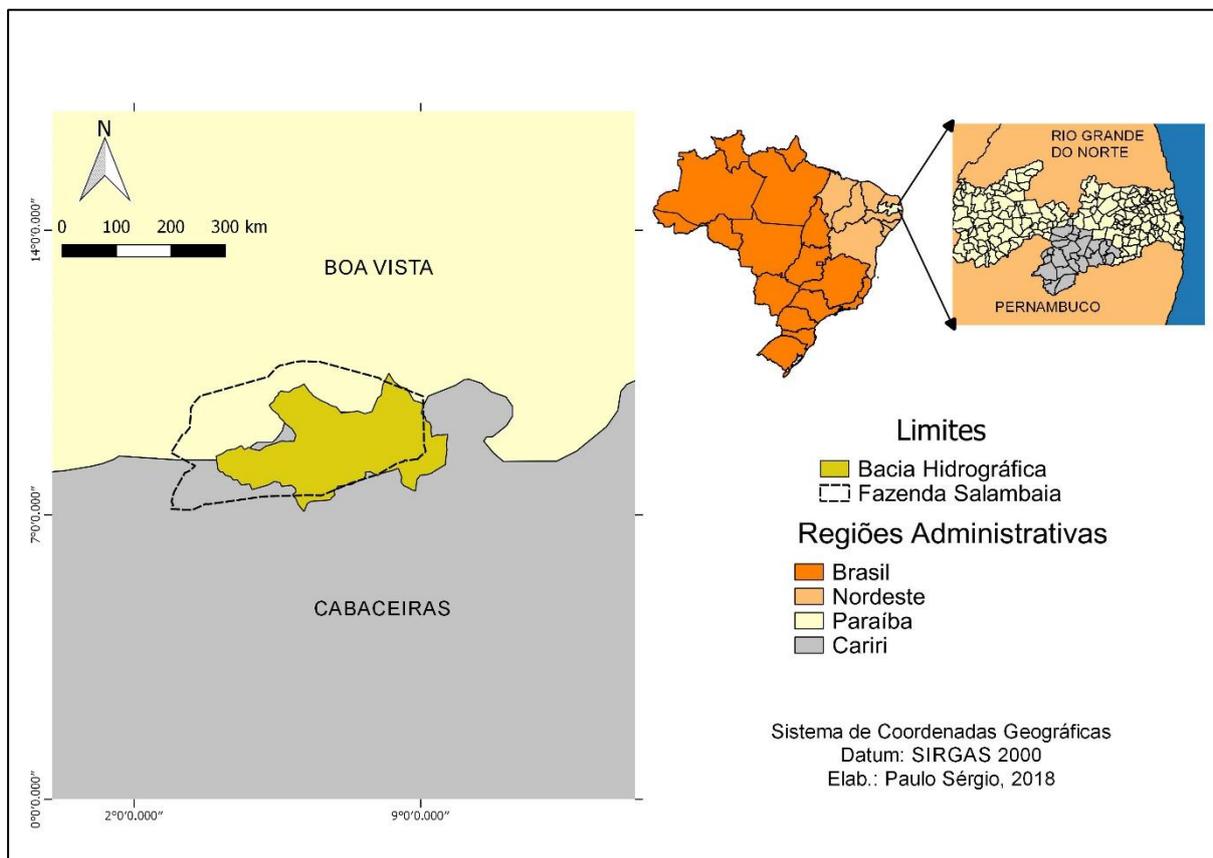


Figura 1: Localização geográfica da Fazenda Salambaia e da bacia hidrográfica na qual o estudo foi desenvolvido.

Os elementos comuns às paisagens existentes que compõe os 29 municípios do Cariri paraibano, são:

Os baixos índices pluviométricos, as temperaturas médias elevadas (cerca de 27°C), os déficits hídricos acentuados, a caatinga hiperxerófila, as limitações edáficas (solos rasos e, em muitos casos, com altos teores de salinidade), cidades pequenas e baixa densidade demográfica (SOUZA, 2008, p.45).

A região do Cariri está subdividida em Cariri ocidental e Cariri oriental. Esta subdivisão está baseada em critérios físicos e econômicos que particularizam essas terras (SOUZA, 2008). O Cariri Oriental, onde está localizado Cabaceiras, apresenta médias pluviométricas baixas (400 a 500mm/ano), condicionando o domínio de um clima semiárido

(INSA,2011; MOREIRA e TARGINO, 1997). Apesar dessa média, a precipitação nessa região acontece de forma heterogênea, no que tange a sua quantidade e distribuição, sendo comum a ocorrências de alguns eventos de chuvas que ultrapassem a quantidade esperada para um mês, além de grandes intervalos entre as precipitações, principalmente em anos de seca e chuvas mal distribuídas (NASCIMENTO e ALVES, 2008).

Por essas razões, sua vegetação é em maioria a Caatinga. A Caatinga é um tipo de formação vegetal de grande adaptação a seca e, até mesmo, a níveis elevados de degradação. Apresenta porte variável, com espécies na sua maioria, caducifólias, espinhosas ou com folhas pequenas, existindo, inclusive, algumas sem folhas (áfilas) para reduzir ao máximo a perda de água por transpiração (MOREIRA, 2000; SOUZA, 2008).

Por conta da variedade fisionômica e florística em que a Caatinga pode ocorrer, existe uma problemática para enquadrá-la em uma classificação universal, uma vez que a maioria de seus aspectos fisionômicos são resultados da inter-relação entre fatores ecológicos, geográficos e fatores antrópicos. Segundo autores como Souza (2008) e Bernardes (1999), em função dessa heterogeneidade, a forma apropriada para mencioná-la seria no plural “Caatingas”.

O caráter de relação mútua que existe entre os elementos que compõem o ambiente semiárido faz com que a vegetação nativa dessa região seja de grande valia para o seu desenvolvimento, servindo como referência quando se trata da utilização de recursos hídricos em condições de escassez (INSA e UFRB, 2012).

Os solos de maneira geral são rasos, com baixa fertilidade natural, baixo teor de matéria orgânica, drenagem limitada, baixa capacidade de infiltração e de retenção de umidade e apresentam grande potencial para a erosão hídrica provocada principalmente pela ocorrência de chuvas de alta intensidade (SAMPAIO, LIMA e GOMES 1981).

No contexto geomorfológico, no Cariri paraibano é comum a ocorrência de extensos afloramentos rochosos graníticos, conhecidos popularmente como lajedos. O lajedo é um grande pavimento rochoso de granito, que possui uma forma dômica e assimétrica do tipo Waleback, qualificado como relevo residual resultante de um processo erosivo de pediplanação que atuou no topo do Planalto da Borborema (LAGES et al. 2013). A ocorrência e permanência dos lajedos na paisagem geomorfológica está diretamente relacionada a atuação dos processos intempéricos e, conseqüentemente, também dos processos erosivos (SOUZA e XAVIER, 2017).

Os lajedos existentes no Cariri Paraibano apresentam grande importância geomorfológica, tanto pelo conjunto variado de formas específicas e raras, quanto pela presença marcante na paisagem, revelando seu caráter de resistência aos processos geomorfológicos (SOUZA e XAVIER, 2017).

A fazenda Salambaia, onde foi desenvolvido esse trabalho, apresenta um cenário contemplado por aspectos naturais bem preservados, o que permite o desenvolvimento de estudos com um maior grau de detalhamento acerca dos elementos particulares dessa paisagem, como as bordas dos lajedos e o fundo de vale. Para esse trabalho, as áreas estudadas são destacadas na figura 2, onde o fundo de vale analisado é denominado “corredor”. A nível econômico, a Fazenda Salambaia está submetida a atividades antrópicas predominantemente pastoris.



Figura 2: Imagem obtida junto ao Google Earth de alguns pontos de interesse para pesquisa, que estão localizados na bacia de drenagem.

2.2 Metodologia

Pelo fato de não se ter estudos prévios na região com esse quadro teórico que sirvam de base para o presente estudo, o trabalho se desenvolveu no nível de pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória tem como finalidade "esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista, a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos

posteriores" (GIL, 2008, p.27). Nesta pesquisa exploratória, se procura esclarecer qual é a importância de uma área de lajedo para o aporte de água da área de entorno, suas benesses ao ecossistema que se desenvolve ao seu redor e quais os fatores que afetam a permanência da água no sistema, para que assim se desenvolva um convívio sustentável por meio da Geoconservação.

Para atingir os objetivos propostos, o primeiro passo foi realizar uma pesquisa bibliográfica que é desenvolvida a partir de materiais já elaborados, constituídos principalmente de livros e artigos científicos (GIL, 2008).

O segundo passo foi a utilização do *software* “Avaliação Integrada de Serviços Ecosistêmicos e Tradeoffs” (InVEST) como ferramenta para gerar os dados definitivos a serem utilizados e debatidos na pesquisa. Esse *software* foi criado em 2007 pela *Natural Capital Project* da Universidade de Stanford em colaboração com o *World Wide Found for Nature*. Reunindo cientistas, decisores políticos, empresas, indústria e outros, para discutir como a abordagem dos serviços ecosistêmicos pode ser implementada na prática (SHARP et al. 2016).

O INVEST tem como funcionalidade a modelagem e mapeamento de um conjunto de serviços ecosistêmicos em toda a paisagem, com o objetivo de elucidar o que é padrão na prestação dos serviços ecosistêmicos e o que foge desse padrão, auxiliando os tomadores de decisão a incorporar o conceito de serviços ecosistêmicos em uma ampla variedade de contextos, relacionados a política e planejamento. A forma como se elaboram os planos e as políticas tem o potencial de afetar o fornecimento dos serviços ecosistêmicos de uma determinada área de maneiras diferentes (SHARP et al. 2016).

O Modelo hidrológico de águas sazonais do InVEST, estima o efeito da gestão da paisagem no serviço de abastecimento de água, fornecendo orientações sobre a contribuição das parcelas de terra para o ciclo hidrológico, especialmente durante a estação seca, com base nos princípios do balanço hídrico (SHARP et al. 2016; ZHANG et al. 2012). As entradas de dados necessários para o uso desse modelo hidrológico, são em formatos matriciais (*raster*), vetoriais (*shapefile*) e tabelas de banco de dados. Seguindo as recomendações do Manual do Usuário InVEST. Utiliza-se para tanto, dos dados de precipitação, evapotranspiração, modelo digital de elevação, uso e cobertura do solo, grupo hidrológico dos solos, bacia de hidrográfica a qual vai estar limitando os dados e as tabelas biofísicas e de eventos de chuva.

A integração de modelos hidrológicos com sistemas de informação geográfica (SIG) tem sido discutida, analisada e utilizada por muitos pesquisadores, principalmente ligados às

ciências exatas e ambientais, a exemplo da engenharia, da hidrologia, da meteorologia e da geomorfologia, cuja tendência é um reflexo da grande capacidade dos SIG em armazenar, manipular, analisar, recuperar e visualizar informações geográficas (FEITOSA et al. 2010).

A ferramenta InVEST vem sendo aplicada em vários locais ao redor do mundo, bem como em diversos contextos decisórios, como na China (ZHANG et al, 2012) e Camboja (WATKINS et al. 2016). A maioria das aplicações vem ocorrendo em áreas de bacias hidrográficas de grande escala.

2.2.1 Precipitação e evapotranspiração

Houve uma preocupação com o nível de precisão dos dados utilizados, evitando o uso de fontes duvidosas, pois o nível de precisão espacial inseridos no *software* interfere nos resultados esperados. Logo, os 12 mapas em *raster* de precipitação mensal (mm) e os 12 mapas em *raster* de evapotranspiração mensal (mm) do ano de 2017, foram obtidos junto ao World Clim e ao satélite MODIS.

2.2.2 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O mapa de MDE, obtido através da imagem de alta resolução do satélite ALOS PALSAR, apresenta uma resolução de 12,5 metros e foi classificado segundo sua altimetria, que varia entre 446 metros e 522 metros.

2.2.3 Uso e cobertura dos solos

O mapa do uso e cobertura compreende um mapeamento das atividades antrópicas e características fitológicas da área de estudo. Foi desenvolvido a partir da aplicação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, sobre as bandas de infravermelho próximo e vermelho do satélite Rapideye, que tem uma resolução espectral de 5 metros. A partir desse produto foi possível analisar a densidade da cobertura vegetal, assim como sua espacialidade, tornando-se um importante mecanismo para estudos voltados para análise da degradação ambiental, gestão e planejamento dos recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico do dinamismo no espaço agrário e entre outras finalidades, principalmente quando se utiliza uma bacia de drenagem como unidade espacial de análise (MELO, SALES e OLIVEIRA, 2011).

Os resultados do NDVI vão de -1 a 1, onde os valores mais próximos de 1 representam áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa,

enquanto os valores mais próximos de -1 representam áreas com menor quantidade de vegetação (RÊGO et. al. 2012). Para esse último parâmetro, definimos como caatinga antropizada as áreas com valores menores ou iguais a 30% de cobertura; níveis intermediários compreendem uma vegetação de caatinga que varia entre 30% a 70% de cobertura; por fim, os valores mais próximos de 1 foram considerados como vegetação densa e florestal.

2.2.4 Solos

As informações dos solos presentes na área de estudo, foram disponibilizadas pelo LAESA/UFPB (Laboratório de Estudos do Semiárido) com a finalidade de agrupar os solos de acordo com sua capacidade de infiltração, textura e estrutura (NRCS, 2007), ficando classificados dentro dos grupos A, B, C ou D, pertencentes ao GHS (Grupo Hidrológico dos Solos).

Segundo a NRCS (2007), os grupos hidrológicos foram baseados na premissa de que os solos com perfis e características semelhantes, responderão de forma equivalente a um evento longo e intenso de chuva.

2.2.5 Tabela biofísica e Curve Number

Ao agrupar os solos em função da sua capacidade de infiltração e combiná-los com as informações de uso e cobertura do solo, foi utilizado o método do SCS (*Soil Conservation Service*) que baseia-se no conceito de que a lâmina de escoamento superficial produzida em um dado evento é uma função da altura total da lâmina precipitada e das abstrações iniciais, que representam as perdas que ocorrem, principalmente, devido à infiltração, à interceptação vegetal e a retenção em depressões do terreno (TYAGI et al., 2008), para obter os valores de *Curve Number* para cada uso e cobertura do solo, em uma tabela padrão do SCS. Essas tabelas foram desenvolvidas para as condições de uso e cobertura dos solos dos EUA, portanto não representam fidedignamente a realidade local, tendo que ser adaptadas, com base nas características em comum dos biomas, para que se aproxime da realidade local.

Os dados de saída do InVEST são mapas modelados em formato *raster*, que representam o potencial de água gerada para cada pixel em toda a paisagem. Os resultados disponíveis incluem a contribuição relativa de uma parcela de terra para geração de infiltração e escoamento superficial, em médias anuais, como também, a capacidade de cada pixel para atingir o fluxo subterrâneo e eventualmente recarregar aquíferos (Figura 3).

A ida a campo foi determinante no processo de elaboração da pesquisa, no sentido que serviu para identificar o quanto os dados gerados, tanto os de entrada como os de saída, são representativos da realidade encontrada na área de estudo, permitindo então, visualizar a composição e distribuição da cobertura vegetal, bem como, alguns dos processos ligados a dinâmica hídrica, que serão abordados no decorrer da pesquisa.

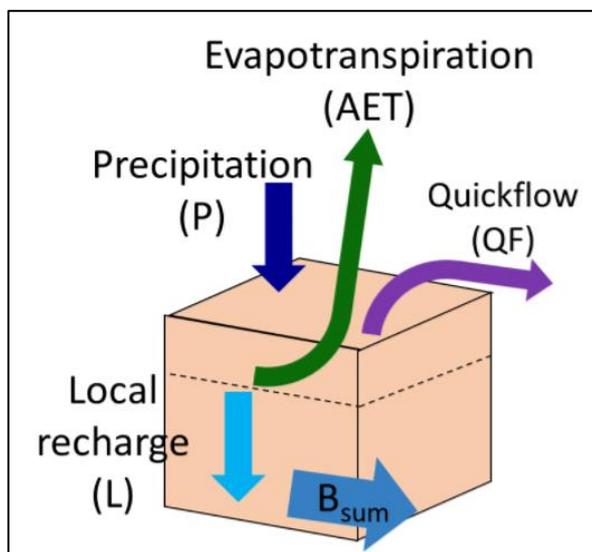


Figura 3: Representação do ciclo hidrológico pelo Modelo de Águas Sazonais do InVEST. AET = Evapotranspiração; P = Precipitação; QF = Escoamento Superficial; L = Infiltração; Bsum = Fluxo de Base. Fonte: SHARP et al. 2016.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 4 apresenta os dados de entrada da área de estudo, necessários para a modelagem dos mapas finais no InVEST.

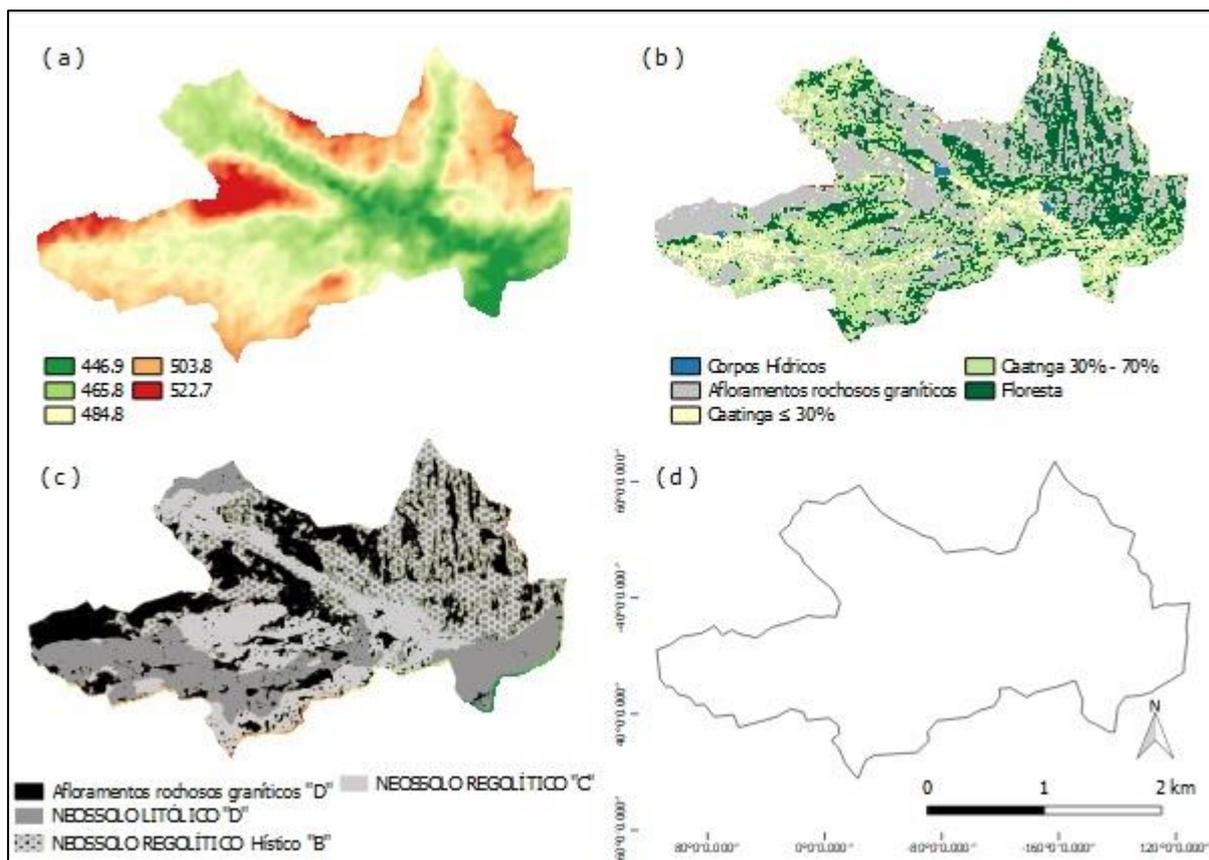


Figura 4: Dados de entrada necessários para o uso do modelo de águas sazonais no InVEST. (a) MDE; (b) Uso e Ocupação; (c) GHS; (d) Bacia Hidrográfica. Autor: Paulo Sérgio.

Para as taxas de escoamento superficial, foram obtidos os seguintes resultados, expressos na figura 5, a seguir.

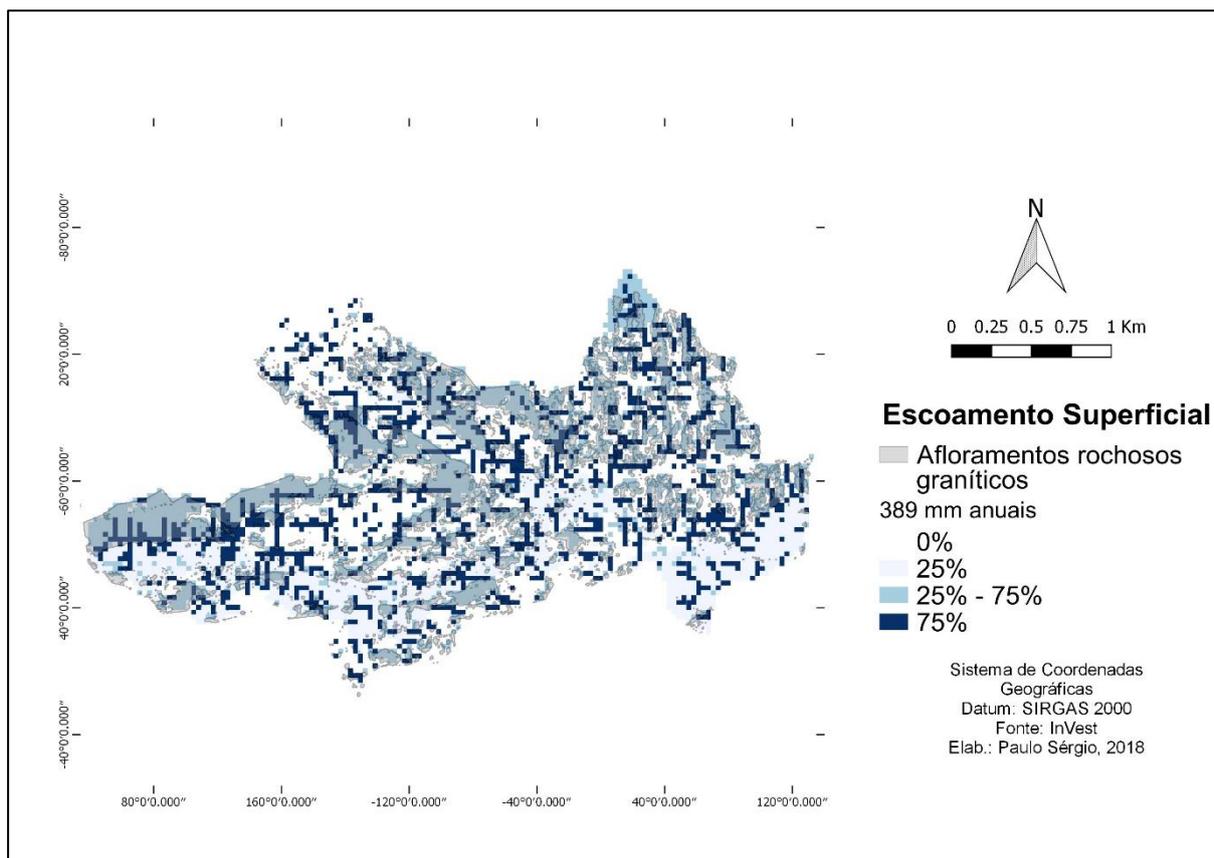


Figura 5: Taxas de escoamento superficial na bacia de drenagem da Fazenda Salambaia, em porcentagem, no ano de 2017. Autor: Paulo Sérgio.

Dos 400mm precipitados durante o ano de 2017 dentro da bacia de drenagem, foi constatado que 389mm escoaram superficialmente, conforme pode ser observado na figura 5. Dentro do que é considerado escoamento superficial se inclui os chamados fluxos de chuva, os quais são gerados depois de determinado tempo de chuva (COELHO NETTO, 2009). Como as áreas convexas de lajedo são as unidades de paisagem mais importantes para o aporte de água, as maiores quantidades de produção de escoamento tendem a ser encontrados em suas encostas e são produzidos com o excedente de precipitação em relação a capacidade de infiltração dos seus solos “finos”, que saturam com facilidade e nas suas superfícies impermeáveis (rocha exposta) (FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

Este tipo de fluxo tem sido denominado na literatura como fluxo superficial hortoniano, ocorrendo quando a intensidade da chuva é maior que a capacidade de infiltração do solo (Figura 6). O solo é incapaz de absorver a água rapidamente e o excesso de água escoar em direção as áreas mais deprimidas da superfície, processo comum em regiões semiáridas e áridas, onde as tempestades são pouco frequentes e de curta duração (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Nos lajedos que se constituem em maior parte por rocha exposta, a produção de escoamento superficial é simultânea durante todo o percurso. As perdas por

evaporação são altas, o que limita o desenvolvimento de percursos hidrológicos contínuos (HORTON, 1933 apud COELHO NETTO, 2009). Cessada a chuva, o fluxo decresce rapidamente e acaba.



Figura 6: Fluxo superficial hortoniano. Fonte: Paulo Sérgio, 2018.

Em um contexto mais amplo e generalista, a bacia de drenagem, enquanto uma unidade hidrogeomorfológica, se caracteriza por ser um sistema aberto, que ao inserir-se no ciclo hidrológico, recebe energia da água que é precipitada sobre sua área e das forças tectônicas subjacentes, e perde energia quando a água que entrou no sistema é devolvida diretamente a atmosfera por evaporação e da água, dos sedimentos e dos solúveis exportados pela bacia (escoamento superficial e subsuperficial) (COELHO NETTO, 2009). Os membros do sistema podem influenciar todos os demais, então, cada membro pode ser influenciado por todos os outros, dentro dessa perspectiva sistêmica há uma interdependência (CHORLEY, 1962).

As formas geométricas do relevo, convexas e côncavas, estão interligadas como componentes da bacia de drenagem e são resultados da ação dos processos erosivos e/ou deposicionais no tempo. Entre os topos e os fundos dos vales transitam sedimentos e diversos elementos detriticos ou solúveis, por meio dos mecanismos associados a água em integração com as forças gravitacionais (COELHO NETTO, 2009).

A localização e a quantificação do escoamento superficial nas encostas definem os mecanismos erosivos e deposicionais que vão atuar de forma dominante na bacia de

drenagem. Esses mecanismos representam as extremidades opostas de um espectro contínuo de resposta do escoamento as interações de diversos fatores bióticos, abióticos e antrópicos, que compõem o respectivo ambiente de drenagem. Alterações na composição desses fatores podem induzir a modificações significativas na dinâmica espaço-temporal dos processos hidrológicos (BRACKEN e CROKE, 2007; COELHO NETTO, 2009; TUCCI, 1993).

O lajedo, enquanto gerador de aporte hídrico, tem nas áreas de maior inclinação as maiores concentrações de escoamento de água e conseqüentemente as mais altas taxas de erosão. Essas zonas são definidas como uma zona de transporte. A partir da diminuição dessa inclinação, ao passo que vai se alcançando a base da encosta, a água e os sedimentos que vinham sendo transportados, vão se depositando, conforme a forma do relevo vai se tornando côncava (BRACKEN e CROKE, 2007; FRYIRS e BRIERLEY, 2013).

Para as taxas de infiltração da água em cada pixel, representado em porcentagem, foram obtidos os resultados expressos na figura 7, a seguir.

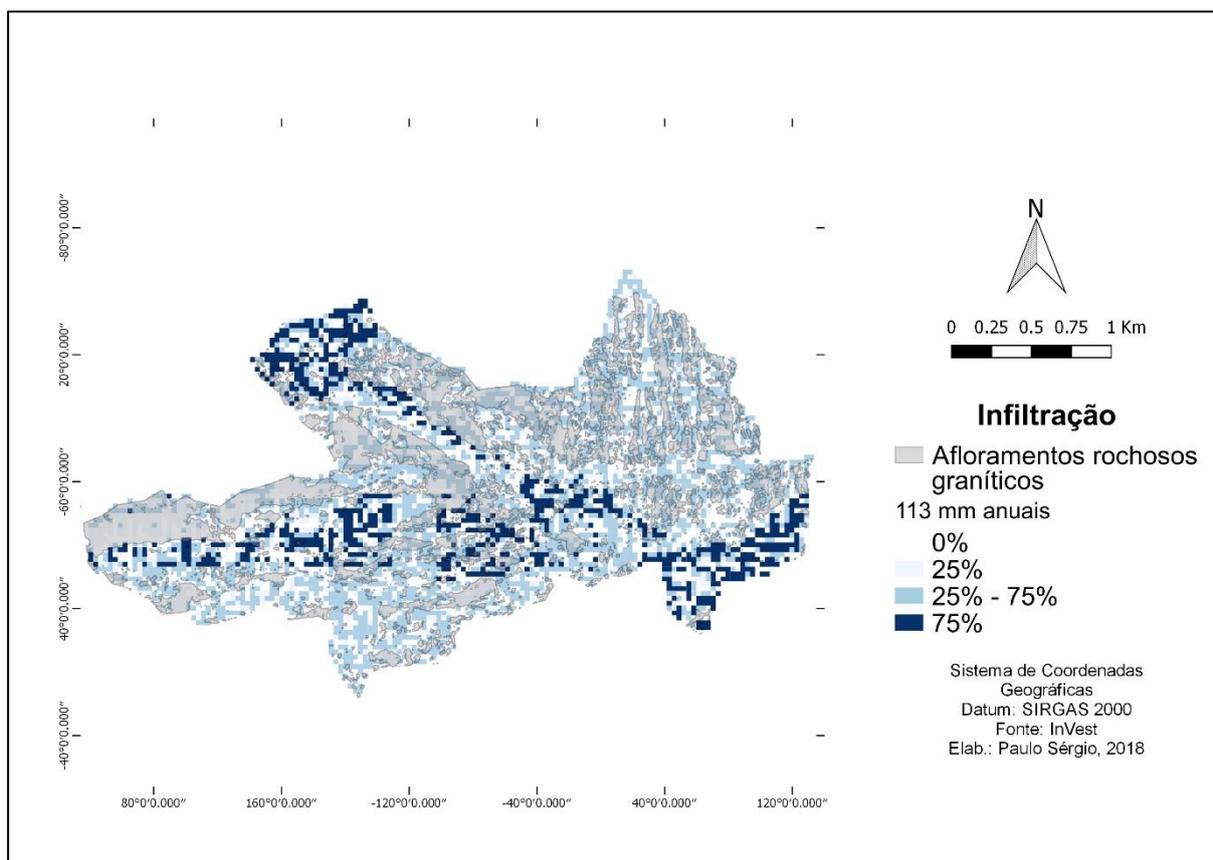


Figura 7: Taxas de água infiltrada para cada pixel, representada em porcentagem, integrando apenas os valores positivos, desconsiderando as perdas. Bacia de drenagem da Fazenda Salambaia, no ano de 2017. Autor: Paulo Sérgio.

Como pode ser observado na figura 7, as áreas de borda de lajedo e fundo de vale, apresentando formato côncavo, ou seja, de convergência dos fluxos, recebem as maiores taxas

dos fluxos de chuva e sedimentos proveniente das partes mais elevadas das encostas. Em algumas dessas áreas localizadas nas bordas, devido a maior pedregosidade e rochiosidade, ao tornarem difícil o uso mais intenso para as atividades humanas, há uma correspondência direta com a vegetação dominante, predominando o estrato arbóreo e diversas espécies de elevado requerimento hídrico.

Nas bordas do lajedo foi identificada a presença de solo NEOSSOLO REGOLÍTICO Hístico, onde se desenvolve uma cobertura vegetal densa e diversificada, ainda que sob condições arenosas (Figura 8). Os solos arenosos do ponto de vista pedológico, tem alta capacidade de infiltração, porém retêm pouca água (IBGE, 2007).



Figura 8: Vegetação densa e florestal na borda dos lajedos que compõem o corredor. Fonte: Paulo Sérgio, 2018.

A matéria orgânica presente no solo, produzida pela vegetação densa, melhora a qualidade do solo, aumentando a estabilidade dos seus agregados e outras características físicas decorrentes da agregação, tais como porosidade do solo, capacidade de infiltração, e de percolação da água (CUNHA, MENDES e GIONGO, 2015) bem como passam a fazer o papel que seria da argila, retendo a água no solo. Nesse contexto, Reichardt (1987) afirma que a textura é o principal determinante na retenção de água, por atuar diretamente na área de contato entre as partículas sólidas e a água.

Essas características da matéria orgânica permitiram o estabelecimento de espécies vegetais mais exigentes em condições hídricas. Em uma análise visual, se observa a presença de espécies como Jatobá (*Hymenaea rubriflora*), *Tocoyena Formosa* e *Myrcia Tormentosa*, normalmente associadas a domínios fitogeográficos de clima úmido e subúmido quente, como

Mata Atlântica, Cerrado e Floresta Amazônica. Segundo Coelho Netto (1987) a vegetação funciona como um manto protetor dos recursos naturais, e por essa razão, sua distribuição e densidade definem o estado de conservação do ambiente.

Os NEOSSOLOS REGOLÍTICOS apresentam grandes diferenças na taxa de infiltração e capacidade de acumular água no solo, quando encontrados em ambientes distintos, por conta da disponibilidade de matéria orgânica. A forma como se manejam os tipos de solos afeta diretamente a disponibilidade de água para as espécies vegetais, que podem ser alteradas de forma substancial, e mesmo na área do corredor que como foi citado anteriormente, tem uma drenagem alta por ser um fundo de vale, a disponibilidade de água nesses solos acaba ficando muito aquém do que poderia ser encontrado numa situação ideal nessa região, uma vez que grande parte da cobertura vegetal original foi retirada para ceder espaço a atividades agropastoris, afetando diretamente a quantidade de matéria orgânica disponível, diminuindo a capacidade de retenção de água nessa área.

Nas áreas de NEOSSOLO REGOLÍTICO, que sofreram com as ações antrópicas, a vegetação se caracteriza por ter uma cobertura de 30% a 70%, variando entre espécies herbáceas e de médio porte (Figura 9). Os padrões de vegetação funcionam nesse caso, como um termômetro na identificação das variações hídricas dos solos.



Figura 9: Fundo de vale (corredor), alto aporte hídrico e baixa presença de vegetação devido ao histórico uso dessas áreas para agricultura. Fonte: Paulo Sérgio, 2018.

Em muitas áreas planas se encontra o NEOSSOLO LITÓLICO, um solo que é pouco desenvolvido e muito raso, possui um alto potencial de escoamento quando completamente molhado e o movimento da água é restrito ou muito restrito (IBGE, 2007; NRCS, 2007). O

NEOSSOLO LITÓLICO tem uma profundidade até a camada impermeável à água inferior a 50 centímetros. Em virtude do uso histórico constante e mais intensivo a que estão submetidos, particularmente com a agricultura e pecuária caprina, há menos de 30% de cobertura vegetal sobre esse solo, composta em sua maioria por herbáceas. Por ser uma vegetação de baixo porte, a água não é interceptada pela vegetação, acarretando que em alguns pontos, haja um processo de erosão, principalmente se somados a pobreza desses solos em matéria orgânica, o que forma uma crosta de silt na superfície do solo seco, contribuindo significativamente para a redução da já baixa capacidade de infiltração (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). Essas condições são desfavoráveis à recolonização de algumas espécies da Caatinga, particularmente aquelas mais exigentes em recursos hídricos (SOUZA e MARTINS, 2012).

Um fluxo de chuva produzido em um ponto mais alto da bacia de drenagem tem o potencial para, em alguns dias depois, contribuir como componente do fluxo de base de um ponto a jusante (DUNNE e LEOPOLD, 1978). A velocidade do fluxo de água subterrânea é muito mais lenta se comparada a velocidade dos fluxos superficiais (BRACKEN e CROKE, 2007). O fluxo de base da área pode ser visto na figura 10.

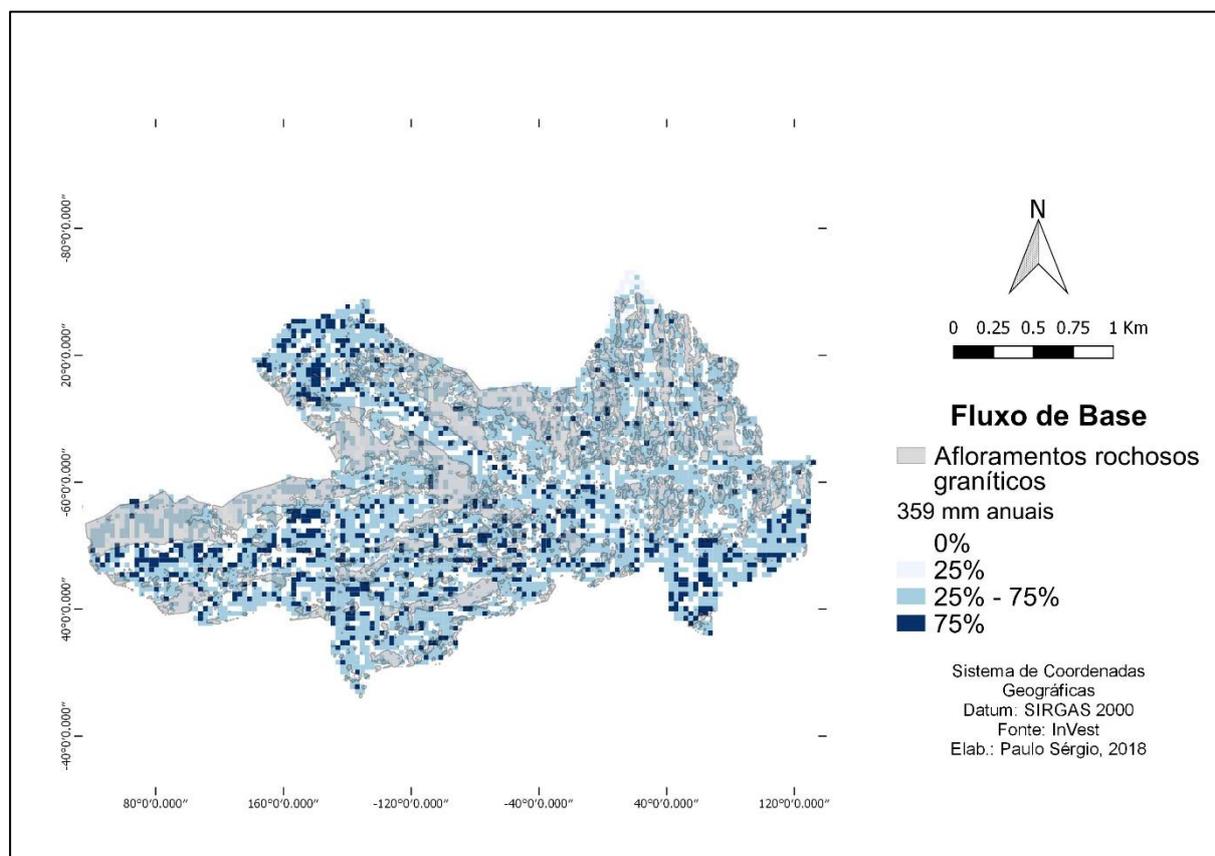


Figura 10: Representa a média das taxas de infiltração dentro da bacia de drenagem que contribuem positivamente para o fluxo de base, no ano de 2017. Autor: Paulo Sérgio.

Com base no que pode ser observado na figura 10, o fluxo de base está concentrado nas áreas mais baixas da bacia, onde condições microtopográficas criam uma situação favorável à infiltração e permanência da água no solo. Nesses casos estão incluídos o fundo do vale, mas também diversas áreas dispersas ao longo da bacia, entre os afloramentos rochosos, estabelecendo uma situação de maior umidade local.

O escoamento superficial, ao infiltrar, a água tende a se mover lateralmente enquanto com o efeito da gravidade, continua a infiltrar através do solo ou da rocha em um movimento vertical, em direção a áreas mais profundas, podendo vir a formar um fluxo de base (TUCCI, 1993). Os fluxos de base são fluxos de água que se mantêm subterraneamente durante os períodos secos, são alimentados pela umidade que ficou retida no solo devido aos eventos de chuva que ocorreram na bacia de drenagem anteriormente, bem como tem o potencial de alimentar corpos hídricos (FRYIRS e BRIERLEY, 2013). A dinâmica hidrológica dos fluxos de base varia conforme algumas características geográficas particulares ao local, tais como a topografia e os tipos de solos, podendo permanecer no sistema de meses até anos (HEWLETT e NUTTER, 1969).

Alguns dos corpos hídricos encontrados na área (Figura 11) estão nas parcelas com as maiores taxas de fluxo de base, e se formaram através da água que retornou a superfície, em um processo conhecido como exfiltração dos fluxos de água subsuperficiais (DUNNE, 1980). Em algumas localidades, os moradores da área de estudo represaram essas águas para usá-las na dessedentação animal e humana. Ao longo da estação seca, esses corpos hídricos vão desaparecendo.



Figura 11: Corpo hídrico, formado pela água exfiltrada que foi represada pelos moradores, na entrada do corredor. Fonte: Paulo Sérgio, 2018.

A área do corredor mantém índices altos de fluxo de base, mesmo com a vegetação parcialmente desmatada, demonstrando que se houvesse a presença da matéria orgânica aumentando sua capacidade de infiltração e retenção de água, essa área teria potencial para contribuir com a dinâmica hídrica da região.

4. CONCLUSÕES

Frente ao exposto, conclui-se que os estudos hidrológicos são de natureza interdisciplinar e dão base para abordagens integradas que trabalhem o uso eficiente da água de forma a permitir a convivência da população com os períodos de seca ou reduzida precipitação. As estratégias de uso e gestão da paisagem, devem englobar as áreas de lajedos como potenciais áreas de exportação de água, priorizando sua preservação e do seu entorno. Especificamente sobre a área de estudo, os fundos de vale como o corredor recebem muita água, mesmo em condições dominantes de semiaridez e, se apresentarem cobertura vegetal preservada, vão armazená-las com muito mais eficiência. Apoiada nessa oferta hídrica, surge como possibilidade a utilização das águas subterrâneas como potencial alternativo para a minimização do impacto decorrente da escassez de chuvas em áreas de clima seco.

O trabalho enquanto pesquisa exploratória, esbarrou na falta de materiais referente ao uso do InVEST aplicado ao semiárido e também nos problemas de escala dos mapas finais, relacionado aos dados de entrada, revelando a dificuldade de se obter dados em escala tão pequena sobre essa área, sendo necessário mais tempo para refinar esses dados e melhor trabalhá-los sob a perspectiva e limitações do InVEST. É indispensável que a linha de pesquisa nessa temática seja um processo contínuo, visto que a tecnologia utilizada, precisa de ajustes e do feedback dos pesquisadores que a estão usando, para que ela se adeque às mais diferentes realidades.

REFERÊNCIAS

AVALIAÇÃO ECOSISTÊMICA DO MILÊNIO. **Ecosistemas e bem-estar humano: Estrutura para uma avaliação**. Conselho de Avaliação Ecosistêmica do Milênio. São Paulo: Ed.SENAC, 2005. 379 p.

BERNARDES, Nilo. As Caatingas. In: **Revista Estudos Avançados**. Dossiê Nordeste seco. 13 (36), São Paulo: Centro de Estudos Avançados, 1999. p. 69 – 78.

BRACKEN, L. J.; CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. Wiley InterScience, v. 21, Hydrol. Process., p. 1749–1763, 2007.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and general system theory. U.S. Geological Survey Professional Paper, v. 500–B, p. 1-10, 1962.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 93-148.

COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical rainforest catchment: The role of litter cover. Catena, v. 14, n. 3, p. 213–231, 1987.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Cap. 9 Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015, p. 273-293.

DUNNE, T. Formation and controls of channel networks. Prog. Phys. Geogr. n. 4. p. 211-239, 1980.

DUNNE, T; LEOPOLD, L. B. **Water environmental planning**. W. H. Freeman & Company, San Francisco, 1978. 818p.

FEITOSA, A; FECHINE, J. A. L; FERREIRA, C; ARAÚJO, M. S. et al. Modelagem dinâmica de escoamento superficial influenciando a susceptibilidade à erosão dos solos num município do semiárido de Pernambuco. II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, v. 2, p.13, 2010.

FRYIRS, K. A.; BRIERLEY, G. J. **Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Editora Atlas. Sexta Edição. 2008.

GRAY, M. Other nature: Geodiversity and geosystem services. Environmental Conservation, v. 38, n. 3, p. 271–274, 2011.

HEWLETT, J. D.; NUTTER, W. D. An outline of forest hydrology. In: **Surface Water, Streamflow and the Hydrography**. University of Georgia, 1969. p. 87-105.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências, número 4, 2007, p. 316.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA); UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA (UFRB). **Recursos hídricos em regiões semiáridas - Estudos e Aplicações**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2012.

LAGES, G; MARINHO, M. S; NASCIMENTO, M. A; MEDEIROS, V; DANTAS, E. L; FIALHO, D. Mar de Bolas do Lajedo do Pai Mateus, Cabaceiras, PB: Campo de matações graníticas gigantes e registros rupestres de civilização pré-colombiana. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. In: Winge,M.; Schobbenhaus,C.; Souza,C.R.G.; Fernandes,A.C.S.; Xavier et al., REGNE, Vol.2, Nº Especial (2016) 303 BerbertBorn,M.; Sallun filho,W.; Queiroz,E.T.; (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, 2013.

MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. GEOGRAFIA. v.17, p. 67-87, 2008.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. RaeGa, v. 23, p. 520–533, 2011.

MOREIRA, E. **O Espaço Natural Paraibano**. João Pessoa, UFPB, Departamento de Geociências,2000.

MOREIRA, E.; TARGINO, I. Formação do Espaço Agrário paraibano. Editora Universitária, p. 38, 1997.

NASCIMENTO, S.S.; ALVES, J.J.A. Um Alerta Ambiental do Grau da Desertificação no Estado da Paraíba. Encontro Internacional de Geografa: Tradições e Perspectivas. Universidade de São Paulo-USP, 2008.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). Chap. 7, Hydrologic Soil Groups. In: **National Engineering Handbook**, Part 630 Hydrology, U.S. Department of Agriculture, 2007.

RÊGO, S. C. A; LIMA, P; LIMA, M. N; MONTEIRO, T. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. *Revista Geonorte*, v. 2, n. 4, p. 1217–1229, 2012.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, 1987. 188p.

SAMPAIO, E.V.S.B.; LIMA, D; GOMES, M.A.F. O gradiente vegetacional das caatingas e áreas anexas. *Revista Brasileira de Botânica*, v.4, n.1. p. 27-30, 1981.

SHARP, R.; CHAPLIN-KRAMER, R; WOOD, S; GUERRY, A; TALLIS, H; RICKETTS, T. **InVEST user guide and documentation**. 2016, 319p.

SOUZA, B. I. Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, 2008.

SOUZA, B. I.; MARTINS, V. L. Infiltração da água em solos de zona semiárida e sua relação com os processos de desertificação. *Boletim gaúcho de Geografia*, v. 1, n. 39, p. 25–40, 2012.

SOUZA, N. R. L.; XAVIER, R. A. A importância dos “lajedos” na paisagem geomorfológica do Cariri paraibano. Congresso Nacional de Geografia Física, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade, ABRH: EDUSP, 1993. 944p.

TYAGI, J. V. et al. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. *Journal of Hydrology*. v. 352, p. 388–403, 2008.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. *GEOGRAFIA*. v.28, n.3, p.323-344. Rio Claro: 2003.

WATKINS, K; SOVANN, C; BRANDER, L; NETH, B. **Mapping and Valuing Ecosystem Services in Mondulkiri: Outcomes and Recommendations for Sustainable and Inclusive Land Use Planning in Cambodia**. WWF Cambodia, 2016.

ZHANG, C; LI, W; ZHANG, B; LIU, M. Water Yield of Xitiaoxi River Basin Based on InVEST Modeling. *Journal of Resources and Ecology*, v. 3, n. 1, p. 50–54, 2012.