



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS – DCG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGeo**

DEIVIDE BENICIO SOARES

**INDICADORES ABIÓTICOS DE DESERTIFICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO PAJEÚ, PERNAMBUCO, BRASIL**

**RECIFE
2016**

DEIVIDE BENICIO SOARES

**INDICADORES ABIÓTICOS DE DESERTIFICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO PAJEÚ, PERNAMBUCO, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Regionalização e Análise Regional

Linha de pesquisa: Dinâmica superficial e climática das paisagens naturais tropicais úmidas e semiáridas

Orientador: Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega

RECIFE
2016

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

S676i Soares, Deivide Benicio.
 Indicadores abióticos de desertificação na bacia hidrográfica do Pajeú,
 Pernambuco, Brasil / Deivide Benicio Soares. – 2016.
 90 f. : il. ; 30 cm.

 Orientador : Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
 Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2016.
 Inclui Referências.

 1. Geografia. 2. Desertificação. 3. Solos – Degradação. 4. Solos –
 Umidade. 5. Solos – Erosão. 6. Clima de regiões áridas. I. Nóbrega,
 Ranyére Silva (Orientador). II. Título.

918 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2017-136)

DEIVIDE BENICIO SOARES

**INDICADORES ABIÓTICOS DE DESERTIFICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO PAJEÚ, PERNAMBUCO, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Aprovada em: 08/11/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Orientador – Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Hernani Loebler Campos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Machado Coelho Júnior (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Ebersson Pessoa Ribeiro (Examinador Externo)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco

Ao meu filho, Vinícius, e à minha esposa, Liliane.

Pelos quais penso e existo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Pai Criador, à Jesus Filho Redentor e ao Espírito Santificador. Também à Mãe Rainha Intercessora, três vezes admirável. Foi a fé que me fez chegar até aqui.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa, condição fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, em especial ao Eduardo Vêras, e aos professores que contribuíram, e muito, para minha formação através das disciplinas ministradas.

Ao meu orientador, Prof. Ranyére Silva Nóbrega, pela paciência, ensinamento e apoio nestes anos de convivência.

Ao Prof. Fernando de Oliveira Mota Filho, com quem aprendi a fazer trabalho de campo e que me alfabetizou nos estudos sobre desertificação. Um agradecimento todo especial.

À Prof^a Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelas aulas de Ciência do Solo, que me trouxeram à luz diversos conceitos utilizados em minhas discussões.

À Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), à Agência Nacional de Águas (ANA), à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por disponibilizarem informações necessárias ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Sr. Rozalves Novaes, amigo morador de Cabrobó, que sempre nos acompanhou em trabalhos de campo e, assim, muito contribuiu para os estudos sobre desertificação.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos, em especial ao Eberson Ribeiro, Elvis Bergue e Caio César, que contribuíram e incentivaram o desenvolvimento desta tese.

[...]

Um menino caminha e caminhando chega no muro
E ali logo em frente a esperar pela gente o futuro está

E o futuro é uma astronave que tentamos pilotar
Não tem tempo nem piedade nem tem hora de chegar
Sem pedir licença muda nossa vida
Depois convida a rir ou chorar

Nessa estrada não nos cabe conhecer ou ver o que virá
O fim dela ninguém sabe bem ao certo onde vai dar
Vamos todos numa linda passarela
De uma aquarela que um dia enfim
Descolorirá

Aquarela – Toquinho / Vinícius de Moraes

RESUMO

Apesar de o tema da desertificação ser estudado em âmbito internacional desde a década de 1970, o consenso sobre o assunto ainda é muito restrito, especialmente quando se trata da definição dos indicadores de desertificação. Desde a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação em 1977, em Nairóbi, no Quênia, os indicadores de desertificação constituem tema de estudos e discussões tanto no meio acadêmico/científico, quanto no meio técnico, representado pelas entidades governamentais. Dentre os indicadores de desertificação consensuados na atualidade estão os indicadores abióticos, representados pelos aspectos climáticos, edáficos e hídricos. Neste contexto está fundamentado o objetivo geral deste trabalho: analisar os indicadores climáticos e edáficos de desertificação na bacia do Pajeú. Nesta perspectiva, foram definidos três objetivos específicos: identificar tendência climática na Precipitação, no Índice de Aridez e no Índice de Precipitação Padronizada; identificar o percentual de solo exposto na superfície da bacia e; identificar a perda média de solo por erosão hídrica. Aplicando-se o teste de Mann-Kendall em séries históricas de 1965 a 2014 de 12 localidades, foram encontradas tendências negativas (de diminuição) com significância estatística de 95% para a precipitação e os índices de aridez e de precipitação padronizada em três postos pluviométricos situados na porção sul da bacia, o que mostra que nesta área o volume anual de chuva está diminuindo, pode estar em curso uma mudança da categoria do clima semiárido para árido e, os episódios de seca estão se tornando mais intensos. O solo exposto foi identificado mediante classificação supervisionada e calculando-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Foi detectado solo exposto em 1,26% da bacia, enquanto que 20,61% da sua superfície está coberta por vegetação rasteira, pastagens e área urbana; 63,57% possui cobertura de caatinga aberta e; 14,48%, por vegetação densa e culturas irrigadas e de vazante. Utilizando-se o programa InVEST SDR foi estimada uma perda média de solo por erosão hídrica entre 0,2 e 2,5 t/ha/ano para os diferentes municípios da bacia. A perda média estimada para a bacia do Pajeú foi de 0,97 t/ha/ano, o que se traduz em uma perda anual de 1.644.261 toneladas de solo por erosão hídrica na bacia. Com a realização deste trabalho espera-se contribuir para o aprimoramento das definições e metodologias que envolvem os indicadores de desertificação, além de subsidiar ações de planejamento e combate à desertificação na região estudada.

Palavras-chave: Tendência climática. Índice de aridez. Índice de precipitação padronizada. Solo exposto. Erosão hídrica.

ABSTRACT

Although the issue of desertification has been internationally studied since the 1970s, the consensus on the subject is still very small, especially when it comes to the definition of desertification indicators. Since the United Nations Conference on Desertification held in 1977 in Nairobi, Kenya, desertification indicators have been subject of studies and discussions in the academic / scientific community, as in technical environments, represented by government entities. Abiotic indicators are among desertification indicators recognized today, represented by climatic, edaphic and water aspects. In this context, the aim of this study was to analyze the climate and soil desertification indicators in the Pajeú Basin, the largest river basin in the state of Pernambuco, fully inserted in the semiarid region, being susceptible to desertification. Three specific aims were defined: to identify climate trend in Rainfall, Aridity Index and Standardized Precipitation Index; to identify the percentage of soil exposed on the basin surface and to identify the average soil loss by erosion. By applying the Mann-Kendall test in historical series from 1965 to 2014 of 12 locations, negative trends were found (decrease) with statistical significance of 95% for precipitation and aridity indices and standardized precipitation in three rain gauge stations located in the southern portion of the basin, which shows concluding that in this area the annual rainfall volume is decreasing, which may mean that this area is undergoing a change of category from semi-arid to arid climate and drought episodes are becoming more intense. Exposed soil was identified by supervised classification and calculating the Normalized Difference Vegetation Index. Exposed soil was detected in 1.26% of the basin, while 20.61% of its surface is covered by ground vegetation, grassland and urban areas; 63.57% have open caatinga coverage; 14.48% by dense vegetation and irrigated and drought cultures. Average soil loss by erosion between 0.2 and 2.5 t / ha / year for the different municipalities of the basin was estimated using the InVEST SDR software. The average soil loss estimated for the Pajeú basin was 0.97 t / ha / year, which means an annual loss of 1,644,261 tons of soil by water erosion in the basin. With this work, we hope to contribute to the improvement of definitions and methodologies involving desertification indicators, in addition to supporting actions of planning and combating desertification in the study region.

Keywords: Climate trend. Aridity index. Standardized precipitation index. Exposed soil. water erosion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área de estudo no Estado de Pernambuco	27
Figura 2 – Áreas Suscetíveis à Desertificação de Pernambuco	28
Figura 3 – Áreas Afetadas por Processos de Desertificação em Pernambuco	28
Figura 4 – Precipitação média anual de Pernambuco	30
Figura 5 – Temperatura média anual de Pernambuco	31
Figura 6 – Contextualização na Província Borborema	33
Figura 7 – Mapa geológico simplificado da bacia do Pajeú	34
Figura 8 – Mapa das unidades de relevo da bacia do Pajeú	36
Figura 9 – Mapa altimétrico da bacia do Pajeú	37
Figura 10 – Classes de declividade da bacia do Pajeú	38
Figura 11 – Mapa pedológico da bacia do Pajeú	40
Figura 12 – Regiões fitogeográficas de Pernambuco	43
Figura 13 – Rede hídrica principal na bacia do Pajeú	45
Figura 14 – Localização dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa	48
Figura 15 – Imagem utilizada para geração do NDVI na bacia do Pajeú	55
Figura 16 – Espacialização da tendência apresentada pela precipitação, IA e SPI-12	62
Figura 17 – Espacialização do IA médio das 12 localidades estudadas na bacia do Pajeú	63
Figura 18 – Tendências da precipitação na bacia hidrográfica do Pajeú, de 1965 a 2014.....	64
Figura 19 – Tendências do índice de aridez na bacia hidrográfica do Pajeú, de 1965 a 2014.	65
Figura 20 – Tendências do índice de precipitação padronizada na bacia hidrográfica do Pajeú, de 1965 a 2014.....	66
Figura 21 – Classes de cobertura do solo identificadas a partir do NDVI na bacia do Pajeú ..	69
Figura 22 – Erosividade das chuvas na bacia do Pajeú.....	73
Figura 23 – Erodibilidade dos solos na bacia do Pajeú.....	74
Figura 24 – Fator LS calculado para a bacia do Pajeú.....	75

Figura 25 – Perda de solo anual por erosão hídrica estimada para os municípios da bacia do Pajeú.....	76
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais reservatórios da bacia do Pajeú	46
Tabela 2 – Postos pluviométricos utilizados na pesquisa, no período de 1965 a 2014	47
Tabela 3 – Escala de valores do Índice de Precipitação Padronizada (SPI)	53
Tabela 4 – Alguns parâmetros do modelo InVEST SDR	60
Tabela 5 – Tendências da precipitação, do índice de aridez (IA) e do índice de precipitação padronizada (SPI-12) nas séries históricas de 1965 a 2014 na bacia do Pajeú	61
Tabela 6 – Identificação do NDVI e percentual ocupado na bacia do Pajeú por cada classe de cobertura do solo	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	Conceito de desertificação	16
2.2	Panorama da desertificação.....	19
3	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
3.1	Clima	28
3.2	Geologia e relevo	32
3.3	Solos.....	38
3.4	Vegetação	42
3.5	Hidrografia.....	44
4	METODOLOGIA.....	47
4.1	Indicadores climáticos	47
4.1.1	Identificação de Tendência.....	47
4.1.2	Índice de Aridez.....	50
4.1.3	Índice de Precipitação Padronizada	52
4.2	Indicadores edáficos.....	54
4.2.1	Percentual de solo exposto	54
4.2.2	Grau de Erosão hídrica.....	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
5.1	Indicadores climáticos	61
5.2	Indicadores edáficos.....	69
5.2.1	Percentual de solo exposto	69
5.2.2	Grau de Erosão hídrica.....	72
6	CONCLUSÕES.....	78
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

Alguns fatos ocorridos no século XX despertaram a atenção da comunidade científica e política internacional para as terras secas, que ocupam cerca de 1/3 da superfície emersa do planeta e abriga, aproximadamente, 25% da população mundial.

Entre as décadas de 1920 e 1930 foi registrada uma longa e severa seca nos Estados Unidos da América com nove anos de duração. Desenvolveu-se, ali, uma situação catastrófica, tendo em vista a degradação ambiental já em curso, provocada por algumas atividades humanas como o desmatamento e o uso intensivo do solo.

Mais tarde, a região do Sahel, ao sul do deserto do Saara, no continente africano, foi atingida por uma seca entre os anos de 1968 e 1973, que resultou em graves consequências ambientais e humanas. A região era habitada por cerca de seis milhões de pessoas e havia um rebanho bovino estimado em 25 milhões de cabeças, das quais ao menos 40% pereceram, vitimadas pela fome.

Acreditou-se, então, que devido à ação antrópica impactante e aos efeitos de possíveis alterações climáticas, os desertos estariam se expandindo, e novos desertos seriam criados. Daí surge o primeiro conceito de desertificação, que estaria atrelado ao surgimento, ou formação, de desertos. Na atualidade, não se aceita este conceito, e a desertificação passou a ser entendida como a degradação das terras secas, como afirmou Rodrigues (1992) “desertificação não é a formação de desertos, mas sim a destruição deles”.

O tema da desertificação constituiu uma importante pauta na Conferência do Meio Ambiente realizada em 1972 na cidade de Estocolmo, na Suécia, e em 1977 foi realizada uma Conferência Mundial sobre Desertificação na cidade de Nairóbi, no Quênia. O assunto voltou a ser amplamente discutido na Rio-92, a Conferência do Meio Ambiente que ocorreu na cidade do Rio de Janeiro, no Brasil, em 1992. Em 1994 foi elaborada a “Convenção Internacional de Luta contra a Desertificação em Países Afetados por Seca Grave ou Desertificação, em particular na África”, ou simplesmente Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD).

Apesar de o tema da desertificação ser estudado em âmbito internacional desde a década de 1970, o consenso sobre o assunto ainda é muito restrito, especialmente quando se trata de da definição dos indicadores de desertificação. Matallo Júnior (2001) afirma que isso ocorre porque o conceito de desertificação não respeita as disciplinas tradicionais da ciência, constituindo-se um conceito essencialmente transdisciplinar, em função das suas múltiplas

causas e efeitos, o que força uma necessária, porém difícil, integração entre diferentes áreas e disciplinas científicas.

Em trabalho pioneiro no Brasil, Vasconcelos Sobrinho (1978) apresentou um manual de indicadores de desertificação no texto intitulado “Metodologia para identificação de processos de desertificação”. Nesta publicação, o autor reuniu os indicadores de desertificação que foram consensuados no Seminário sobre Desertificação e na Conferência das Nações Unidas sobre o mesmo tema, realizados em Nairóbi, nos meses de agosto e setembro de 1977. Segundo o autor, o propósito deste Seminário foi, justamente, a definição de uma série integrada de indicadores críticos (físicos, biológicos-agrícolas e sociais) que serviriam para o diagnóstico da desertificação e contribuiriam para a execução de programas corretivos.

Desde então, os indicadores de desertificação continuaram sendo tema de estudos e discussões tanto no meio acadêmico/científico, quanto no meio técnico, representado pelas entidades governamentais.

Abraham e Beekman (2006) destacam que no início da década de 1990 um grupo de pesquisadores e ONGs do Brasil, Argentina, Chile, Peru e Bolívia, coordenados pela Fundação Esquel, desenvolveram um projeto com o objetivo de elaborar uma metodologia unificada para avaliação e monitoramento da desertificação na América Latina, apoiados desde o início pelo Programa Regional para América Latina e Caribe da Convenção das Nações Unidas de Luta contra a Desertificação e a Seca (UNCCD). Ainda segundo Abraham e Beekman (2006), merece destaque na América Latina o trabalho percursor deste grupo, com o desenvolvimento de estudos nas regiões áridas e semiáridas, em especial na obtenção de indicadores de desertificação.

Em 2001, se iniciaram as atividades do Programa de Luta Contra a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul, com a participação de seis países: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Equador e Peru. Este programa motivou a elaboração dos Programas de Ação Nacionais (PAN) e promoveu avanços nos temas prioritários estabelecidos pela Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas de Luta contra a Desertificação e a Seca, dentre eles, a harmonização e aplicação dos indicadores de desertificação existentes.

Os indicadores de desertificação discutidos em oficinas realizadas nos seis países participantes do referido programa foram analisados e submetidos a um processo de seleção para consolidar o conjunto unificado de indicadores adotados (ABRAHAM, 2006). Os indicadores de desertificação foram organizados em quatro grandes grupos: indicadores abióticos (relacionados ao clima, água e solo), indicadores bióticos (flora e fauna), indicadores sociais e econômicos, e indicadores institucionais e organizacionais.

Mesmo constituindo tema de discussão por pesquisadores no âmbito da UNCCD, do Brasil e, também, especificamente de Pernambuco, os indicadores de desertificação têm sido pouco aplicados na prática, havendo necessidade de realização de estudos técnicos e científicos que possam analisar o processo de desertificação através dos seus indicadores.

Em vista disso, a proposta deste trabalho tem como objetivo geral avaliar os indicadores climáticos e edáficos na bacia hidrográfica do Rio Pajeú. Como objetivos específicos se propôs identificar tendência climática na precipitação, no índice de aridez e no índice de precipitação padronizada; identificar o percentual de solo exposto e; identificar a perda média de solo por erosão hídrica.

A partir dos objetivos específicos foi elaborada a hipótese do trabalho: o clima na bacia hidrográfica do Pajeú está ficando mais seco; são encontradas áreas com solo exposto em locais onde se praticam atividades agropecuárias e; a erosão hídrica se faz mais intensa nas regiões de relevo acidentado, sobretudo na porção norte da área de estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Conceito de desertificação

A expressão desertificação foi mencionada pela primeira vez pelo pesquisador francês Louis Lavauden em 1927 e popularizada por Andre Aubreville nos anos 1940, depois de uma década de experiências relacionadas com a degradação da terra na Grande Planície Americana, causada principalmente pelo desmatamento, exploração intensiva do solo e nove anos de intensa seca que afetou a região entre as décadas de 1920 e 1930 (MATALLO JÚNIOR, 2009).

Ao discutir questões relacionadas com a degradação do solo no polígono das secas do Brasil, Duque (1953), apesar de não utilizar a expressão desertificação, afirmou que o manejo inadequado estaria produzindo uma “deterioração edáfica”, a qual seria responsável pela formação de um “deserto econômico”, pois a intensificação dos processos erosivos provocaria a diminuição da produtividade agrícola nesta região. Mesmo sem citar o termo (expressão escrita, palavra) desertificação, o referido autor descreveu de forma ímpar o conceito (expressão mental, ou o que se entende por isso) atual de desertificação, que é a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas.

Conti (2008) afirma que uma seca prolongada que abateu a região subsaariana do Sahel entre os anos de 1968 e 1973 trouxe graves consequências ambientais e humanas. A região era habitada por cerca de seis milhões de pessoas e havia um rebanho bovino estimado em 25 milhões de cabeças, das quais ao menos 40% pereceram, vitimadas pela fome. O assunto constituiu uma pauta na Conferência sobre Meio Ambiente realizada em Estocolmo, Suécia, no ano de 1972, e motivou a realização da “Conferência Mundial sobre Desertificação” em 1977 em Nairóbi, Quênia.

Durante esta conferência das Nações Unidas de 1977 a desertificação foi definida como a diminuição ou destruição do potencial biológico da terra, uma deterioração generalizada dos ecossistemas sob as pressões combinadas de um clima adverso e flutuante e de uma exploração excessiva, que resulta em definitivo em condições de tipo desértico (RODRIGUES, 1992).

Vasconcelos Sobrinho (1982) afirmou que a desertificação é um fenômeno em processamento que pode resultar ou não em deserto, e levantou a tese de que o semiárido brasileiro era um deserto em potencial, em função da ruptura do equilíbrio instável do ambiente semiárido provocada pela ação humana. A influência das atividades antrópicas no surgimento da desertificação é bem documentada em outro fragmento de texto de Vasconcelos Sobrinho (1971, p. 9):

Enquanto não há interferência, esse periclitante equilíbrio entre flora e fauna e o meio hostil, vai se mantendo a duras penas. Mas vem o homem e ocupa a área; derruba e queima a cobertura vegetal, quebrando um dos elos da cadeia de condicionantes, e dá-se a ruptura do complexo; o solo foge perdendo a fertilidade, assoreando os rios; sua superfície resseca-se e impermeabiliza-se; a cobertura vegetal perde a pujança e degrada-se; a atmosfera desidrata-se e aquece-se, dificultando as precipitações; as reservas de água das profundidades do solo minguam, as fontes estancam-se e os rios tornam-se intermitentes. E, por último, foge o homem.

No conceito de desertificação adotado na conferência de Nairóbi se afirmava que os ecossistemas afetados por esse processo poderiam se transformar em desertos. Refutando esta ideia, Matallo Júnior (2009) afirma que existe uma intensa discussão sobre as diferenças entre desertificação e desertização ou formação de desertos, que são conceitos absolutamente distintos. Deserto é o resultado da evolução climática e desertificação é o resultado do manejo inadequado dos recursos naturais nas zonas áridas.

Reis (1988) afirma que o uso inadequado do suporte físico vai, aos poucos, dizimando a flora e a fauna, diminuindo a capacidade produtiva dos solos, exaurindo as nascentes e assoreando os mananciais, e que nos ambientes frágeis ou suscetíveis, o desgaste tende a se processar de modo mais acentuado, como é o caso dos ambientes com solos de alta erodibilidade e/ou com chuvas de alta erosividade, com relevo movimentado e/ou, ainda, com ventos de alta intensidade. O referido autor propõe a utilização “esterilização ambiental” ao invés de desertificação, afirmando ser mais adequada para traduzir a extinção da fauna, a devastação da flora e a perda progressiva da capacidade produtiva do solo.

Retallack (1991) define desertificação como um processo de deterioração ambiental resultante do rompimento da estabilidade de uma paisagem, dando origem a eventos catastróficos de erosão de vertentes, denudação de solos cultiváveis, formação de campos de dunas, etc., que são fenômenos mais comuns em um deserto.

De acordo com o Artigo 1 da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), desertificação significa a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as atividades humanas e as variações climáticas (BRASIL, 200?). Por degradação da terra entende-se a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica e da complexidade das terras agrícolas (de sequeiro e irrigada), das pastagens (naturais e plantadas), das florestas e matas nativas devido aos sistemas de utilização da terra.

Aqui, neste trabalho, será adotada uma definição própria para o conceito de desertificação, pois entendemos desertificação como a degradação dos ambientes áridos, semiáridos e subúmidos secos provocada pela ação humana. Alguns comentários a respeito desta definição precisam ser tecidos.

Em primeiro lugar acreditamos que o homem é o responsável pelo desenvolvimento do processo de desertificação. Não fosse a interferência humana, os sistemas naturais das regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas se manteriam em um equilíbrio dinâmico, apresentando a resiliência necessária sob diferentes situações de impacto natural, como a ocorrência de eventos climáticos extremos (secas prolongadas e sucessivas, bem como episódios de chuva intensa). A ocorrência da seca meteorológica é algo inerente aos desertos e semiáridos, e fenômenos como a erosão hídrica ou eólica são naturais e ocorrem independente da presença humana, mas algumas atividades antrópicas, como o desmatamento, aceleram e potencializam os processos erosivos, bem como diminuem o poder de resiliência dos ambientes naturais.

Outra questão é que acreditamos que a desertificação corresponde a todo e qualquer tipo de degradação provocada pelas atividades humanas nos ambientes áridos, semiáridos e subúmidos secos. Algumas atividades são mais impactantes do que outras, e a forma ou manejo com que uma atividade é conduzida vai provocar maior ou menor impacto, mas o impacto continuará existindo. Por exemplo, a prática da irrigação por inundação ou sulco utiliza muita água e se não for acompanhada por um sistema de drenagem artificial irá contribuir para o aumento dos teores de sais no complexo sortivo do solo, fenômeno que pode ser chamado de salinização. Outras técnicas de irrigação, como o gotejamento e a microaspersão controlam o volume de água lançado ao solo, e quando acompanhadas de um sistema artificial de drenagem diminuem significativamente o processo de salinização no local onde ocorre a irrigação, porém, se a água que drena através dos canais artificiais for lançada indiscriminadamente em outra área, fora do perímetro irrigado, poderá “transplantar” a salinização – evita-se o aumento dos níveis de sais na área irrigada, mas provoca-se a salinização na área de entorno.

Por fim, é preciso destacar que toda a extensão das chamadas terras secas (regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas) é suscetível à desertificação. Agora, vale ressaltar que ambientes diferentes respondem de forma diferentes a um mesmo fator impactante. Uma área com elevada declividade é mais suscetível à erosão do que uma área plana (com baixa declividade). Um planossolo (por apresentar drenagem deficiente) e um luvisolo (por ser bastante raso) são mais suscetíveis à salinização do que um latossolo, que é mais desenvolvido (profundo) e bem drenado. Em vista disso, é importante pensar e propor escalas ou níveis de suscetibilidade

natural à degradação, pois a degradação pode ocorrer em toda a extensão das terras secas, mas existem regiões mais ou menos suscetíveis à degradação.

A suscetibilidade natural de cada região à desertificação é definida em função dos indicadores abióticos, com grande participação do clima e dos solos, daí a motivação científica para a realização desta tese.

2.2 Panorama da desertificação

Segundo Matallo Júnior (2001), as terras secas foram as primeiras áreas a serem povoadas da história, e que em muitas delas ergueram-se ricos impérios e majestosas civilizações, mas que no contexto da colonização europeia tornaram-se colônias e se mantiveram em escala de subsistência, com baixos níveis de tecnologia e capitalização. O significado disso foi o atraso tecnológico e um padrão de exploração dos recursos naturais insustentável, o que deve ter contribuído para o desenvolvimento da desertificação em muitas áreas.

De acordo com Adeel *et al* (2005), a desertificação é observada em todos os continentes, exceto a Antártida. Este fenômeno ocorre nas terras secas do mundo todo e seus efeitos se experimentam em nível local, nacional, regional e mundial. As terras secas ocupam cerca de 41% da superfície terrestre, onde habitavam, no ano de 2000, mais de dois bilhões de habitantes – um terço da população mundial. Cerca de 70% das terras secas de todo o mundo (com exceção dos desertos hiperáridos) estão degradadas (UNCCD, 2011a).

A desertificação tem seu máximo impacto na África, pois 2/3 do continente é constituído de desertos ou terras secas. Existem grandes extensões de terras secas sendo utilizadas para a agricultura e quase 3/4 destas já apresentou algum tipo de degradação (UNCCD, 2011b).

A desertificação apresenta variadas formas ao longo de todo o continente asiático. Com sua superfície total de 4,3 bilhões de hectares, desde a costa do Mediterrâneo até a do Pacífico, a Ásia possui cerca de 1,7 bilhões de hectares de regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas. Entre as terras degradadas estão as dunas da Síria, as vertentes montanhosas do Nepal e os altiplanos desmatados e altamente utilizados para o pastoreio no Laos. Levando-se em conta a quantidade total de pessoas atingidas pela desertificação, a Ásia é considerada o continente mais severamente afetado (UNCCD, 2011c).

Ainda que sejam mais conhecidos pelas suas florestas pluviais, 1/4 da América Latina e Caribe é formado por desertos e terras secas (20.553.000 km²). Há desertos na costa do Pacífico que se estendem do sul do Equador ao Norte do Chile. Ao leste dos Andes se estende

uma grande área seca, desde o Chaco paraguaio até a Patagônia argentina. No Nordeste do Brasil há uma região semiárida. Grandes áreas da Colômbia e Venezuela já se encontram degradadas. Os países do Caribe também apresentam terras secas, ao passo que a erosão é intensificada nas ilhas orientais caribenhas. A maior parte do México é formada por desertos e regiões semiáridas, sobretudo no norte (UNCCD, 2011d).

A região situada ao norte do Mediterrâneo vem sendo colonizada e cultivada durante milênios, por diversas culturas e civilizações. Uma grande parte da região é semiárida e está submetida à secas periódicas e grande variabilidade pluvial, com ocorrência de chuvas intensas. Caracterizam-se por uma elevada densidade demográfica, grandes concentrações industriais e uma agricultura intensiva. A degradação da terra nesta área está intimamente relacionada com práticas agrícolas mal conduzidas. O terreno fica salinizado, seco, estéril e se torna improdutivo como resposta a uma combinação de riscos naturais – secas, inundações, queimadas – e de atividades controladas pelo homem, em particular cultivo e pastoreio excessivos (UNCCD, 2011e).

A degradação da terra e a seca afetam muitos países da Europa Central e Oriental, sendo a desertificação um problema tanto de países em desenvolvimento, quanto de países desenvolvidos (UNCCD, 2011f).

Pamo (1998) em um estudo realizado para o norte do Camarões destacou que a construção da represa de Mega Dam (localizada na fronteira entre Camarões e Chade) intensificou a desertificação na região e trouxe sérios problemas para os pastores e os animais selvagens que se alimentam do pasto, de uma maneira geral. O nomadismo e a transumância são os dois sistemas de criação de gado encontrados nesta região, por já estarem adaptados às flutuações ambientais subsahelianas até a construção da barragem, quando o represamento das águas passou a impedir o alagamento das terras durante a estação seca, fazendo reduzir a pastagem natural, obrigando os pastores e os animais selvagens a desenvolver mecanismos de migração a grande distância. Embora esta estratégia de “fuga” sazonal tenha reduzido a mortalidade do gado e dos animais silvestres, ela afetou seriamente a economia dificultando o modo tradicional de vida dos pastores.

Barth (1999) afirma que o problema da degradação da terra na Província Oriental da Arábia Saudita não é um fenômeno novo, mas tem se intensificado nos últimos anos e se tornado uma ameaça ao delicado ecossistema do deserto e também às áreas urbanas e industriais, devido ao grande movimento de areia. O maior problema apontado por este autor é a intensificação da atividade eólica em função da redução da diversidade e densidade de espécies vegetais. Nesta área, é comum encontrar raízes expostas, plantações “arrancadas” pelo

vento e uma grande dinâmica da formação de dunas. Além disso, a deflação está modificando a estrutura interna das feições de relevo sedimentar conhecidas por “sabkhas”.

Estudo realizado por Ram *et al* (1999) mostrou que no deserto de Thar, no Rajastão, Índia, ocorre um fato sociocultural que favorece o processo de desertificação. Foi identificado que as propriedades de terra são subdivididas num intervalo médio de 20 a 30 anos, devido à igualdade na partilha de herança, com base nas leis de sucessão. A diminuição do tamanho das propriedades resultou numa queda na produção de cereais (cerca de 12%) e de grãos (cerca de 42%), o que promove o cultivo excessivo e o aumento das monoculturas, que por sua vez diminui a produtividade da terra, resultante da diminuição fertilidade do solo.

Segundo Manzano e Návar (2000), diferentes estágios de degradação do solo têm sido observados no nordeste do México, onde numerosos rebanhos de caprinos pastam na “*Tamaulipan thornscrub*” e muitas vezes ultrapassam a capacidade dessas pastagens. A pecuária nessas áreas é muito desorganizada e realizada de forma extensiva, principalmente nas grandes e mal administradas propriedades de terra (“*ejidos*”). Alterações na composição de espécies de plantas, na cobertura de vegetação e compactação do solo foram identificadas como primeiras respostas do sobrepastoreio nesse ecossistema.

Segundo Abahussain *et al* (2002), a região árabe apresenta como principal problema ambiental a desertificação. De acordo com os autores, além da problemática natural, como ocorrência de secas prolongadas e erosão pelo vento e pela água, a região enfrenta vários problemas socioculturais, como o desmatamento, o sobrepastoreio, a má gestão dos recursos hídricos, a poluição do solo e a agricultura moderna, que trouxe problemas de salinização em função da irrigação. É apontado como o maior responsável pela aceleração da desertificação o grande aumento da população e a urbanização, acompanhados por uma mudança no padrão de consumo e estilo de vida, que provocou uma demanda por alimento, forçando as terras agricultáveis à exaustão e a criação ao sobrepastoreio.

Zhao *et al* (2005) identificaram que no interior da Mongólia, a criação de animais de grande porte em pastos sobre terreno arenoso, gerou compactação do solo devido ao pisoteio contínuo, e deixou manchas de solo exposto na pastagem, que no intervalo de cinco anos se transformaram em grandes áreas de solo desnudo região de pastoreio.

No Brasil, um dos pioneiros no estudo sobre desertificação foi Vasconcelos Sobrinho (1982), que selecionou, empiricamente, seis áreas piloto, onde existiam processos de degradação do solo e da cobertura vegetal, nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia.

Baseado nestes estudos, o Ministério do Meio Ambiente promoveu visitas a campo de um grupo de pesquisadores a essas áreas. Dentre elas, quatro foram caracterizadas como de alto risco à desertificação ficando conhecidas como Núcleos de Desertificação de Gilbués (PI), de Irauçuba (CE), do Seridó (RN e PB) e de Cabrobó (PE) (BRASIL, 2005; 2007).

Nesses quatro núcleos foi constatado que o fator antropogênico para a intensa degradação, de uma maneira geral, foi a substituição da caatinga por práticas de agricultura, pecuária e retirada de madeira para a produção de lenha e carvão. Alguns fatores associados foram a mineração e a extração de argila de solos aluviais. Entretanto, sabe-se que o grau de impacto antropogênico nesses quatro núcleos é variável, pois as naturezas geomorfológica, pedológica e climática também são relevantes, muitas vezes distintas (BRASIL, 2007).

O núcleo de Gilbués (PI) é formado pelos municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí (BRASIL, 2007). Rodrigues (1992) afirma que a existência do núcleo de desertificação de Gilbués é consequência das atividades de mineração, pecuária extensiva e queimadas. A mineração do diamante foi a principal atividade econômica, atraindo grande contingente populacional e gerando exploração desordenada dos recursos. Com a queda da mineração, as áreas exploráveis foram ocupadas com grandes projetos agrícolas e com utilização da prática de queimadas e de mecanização pesada.

Nestes municípios, há áreas com acentuado processo de erosão, exibindo fundas voçorocas, grandes depósitos de sedimentos arrastados pelas águas e extensas manchas de solo nu, principalmente nas áreas de encostas que se estendem da borda das grandes chapadas até as calhas dos rios. A erosão neste núcleo tem várias causas, mas a origem primeira é de natureza geológica (Sampaio *et al*, 2003).

Sampaio, Araújo e Sampaio (2005) destacam que a presença de voçorocas é um indicador fácil de ser observado e é o traço mais marcante da desertificação em Gilbués. Neste núcleo, a grande extensão da área afetada (centenas de ha), a profundidade atingida pelas voçorocas (até alguns metros) e a velocidade de sua formação (uma única estação de chuvas) não deixam dúvida quanto à importância da erosão.

Sales (2003) afirmou que a extensão e a intensidade da degradação ali verificada são de impressionar, sobretudo ao se atravessar a região no período seco, maio a outubro, quando a erosão eólica predomina na mobilização do material, emprestando à paisagem fisionomia semelhante à de desertos, situação que compromete fortemente sua economia e seu meio ambiente.

Segundo Sampaio *et al* (2003), as atividades humanas contribuem para o agravamento da erosão, mas de maneira menos marcante do que tem sido descrito na literatura de

desertificação do núcleo, constituindo-se como atividade de maior impacto a pecuária, não pelo tráfego de animais em si, mas o corte ou roço dos arbustos do cerrado para aumento da vegetação herbácea, a queima das áreas para renovação das pastagens e o sobrepastoreio reduzem a cobertura vegetal, aumentando o risco de erosão.

Galvão, Galvão e Shito (2003) afirmam que as atividades de sobrepastoreio, desenvolvidas nas áreas de solo exposto e de cobertura herbácea, na área nuclear de degradação do núcleo de desertificação de Gilbués, ao tempo em que atuam compactando o solo e promovendo a exaustão dos poucos recursos vegetais ainda existentes, são fortemente responsáveis pela intensificação dos níveis de degradação ambiental daquelas áreas.

Ideia semelhante foi apresentada por Sales (2006), que considerou a pecuária como a atividade mais impactante na região, chamando atenção, ainda, para a mineração artesanal que se desenvolveu entre os anos de 1950 e 1970, que promoveu uma degradação pontual e o avanço da fronteira agrícola de grãos no final do século XX, que teria promovido o aumento da população e da pressão por recursos madeireiros, ampliando as áreas desmatadas.

O núcleo de Irauçuba (CE) é formado pelos municípios de Irauçuba, Sobral e Forquilha (BRASIL, 2007), área de colonização bastante antiga, desde o início do século XVIII que, segundo Sampaio *et al* (2003) vem sofrendo a continuada ação do homem, mas sua caracterização não se deve, no entanto, exclusivamente à ação humana, de um modo geral, mas, particularmente, à classe predominante de solo da região, os Planossolos, que são caracterizados por uma camada superficial arenosa, geralmente de pequena profundidade, sobreposta a camadas muito argilosas, compactas e de baixa permeabilidade e difícil penetração pelas raízes, o que limita o crescimento das plantas e impõe restrição ao estabelecimento de espécies de maior porte. Assim, predomina a vegetação herbácea, que é, geralmente, usada como pastagem, na maior parte das vezes com lotação excessiva, o que leva ao consumo de toda a parte aérea da vegetação herbácea, deixando o solo descoberto e, por isso, mais propenso à erosão.

Sales (2006) comunga, em parte, desta ideia, quando afirma que ao longo do tempo áreas de pastagens nativas vem sendo desmatadas para aumento da produção das forrageiras, não permitindo o desenvolvimento de uma vegetação de porte arbóreo e densa em virtude das condições de solo e clima.

Sales e Oliveira (2006) complementam este entendimento quando afirmam que o sobrepastoreio nessas áreas desmatadas conduz a um alto nível de degradação da cobertura vegetal e dos solos. Não obstante, afirmam que é possível pensar que o manejo das áreas de pastagens nativas, aliado a um programa de gerenciamento dos recursos hídricos se constitui na

principal alternativa para melhoria das condições de uso dessas terras e, sobretudo, na qualidade de vida da população local.

Sá e Angelotti (2009) acrescentam que as principais causas da degradação ambiental nessa região são o desmatamento, práticas de queimada e ocupação desordenada do solo. Os autores fazem, ainda, um resgate histórico da monocultura algodoeira desenvolvida nas décadas de 1950 e 1960, responsável por um desgaste do solo, bem como dos desmatamentos ocorridos na década de 1970, quando a madeira foi usada indiscriminadamente para a produção de energia.

Vieira, Carvalho e Alvalá (2009) em estudo realizado em Irauçuba, Ceará, identificaram que as diferentes classes de vegetação de caatinga, floresta perene e floresta decídua tiveram suas áreas reduzidas significativamente ao longo das décadas de 1970, 1980, 1990 e 2000, ao passo que as classes de agropecuária, solo nu, estradas e área urbana apresentaram um aumento também significativo no mesmo período, o que ilustra uma mudança no padrão do uso e ocupação do solo, o que muitas vezes acarreta degradação.

O núcleo de Seridó (RN) é formado pelos municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas, Cruzeta, Currais Novos, Equador e Parelhas (BRASIL, 2007). Além dos citados pelo MMA deve-se destacar a porção paraibana constituída pelos municípios de Jardim do Seridó, Santana do Seridó, Junco do Seridó, São Mamede, Várzea, São José do Sabugi e Ouro Branco.

Accioly *et al* (2001) identificaram que houve um aumento do albedo na região do Seridó, de 1994 a 1999, contribuindo para esse aumento a diminuição dos espelhos d'água, em função das secas de 1997 e 1999, além da exploração da lenha em áreas que no passado eram mantidas preservadas.

Costa *et al* (2001; 2002), ao fazerem o mapeamento da fitomassa da caatinga no Seridó, identificaram que as maiores parcelas da área estudada representam área sem cobertura vegetal (28%) e caatinga aberta e semidensa (33%), enquanto que a menor parcela foi representada pela caatinga densa (3%), localizada no alto da serra das Queimadas, estoque lenhoso de baixa representatividade na área de estudo.

Ao analisar a degradação ambiental no prolongamento do Seridó no Estado da Paraíba, Candido, Barbosa e Silva (2002) identificaram um alto índice de degradação, nas categorias grave e muito grave, chegando a quase 50% da área, cujos principais fatores da degradação foram identificados como o pastoreio e a mineração.

Segundo Sampaio *et al* (2003) o principal impacto antrópico na região é a retirada da vegetação para lenha. Sá e Angelotti (2009) ratificam esse pensamento e complementam,

afirmando que o desmatamento se destina á extração de lenha para alimentar os fornos das mais de 80 fábricas de cerâmicas que se espalham pela região.

De acordo com Sales (2006), historicamente a área sempre teve a pecuária extensiva associada à agricultura de subsistência como principal atividade econômica. Posteriormente, com o surgimento da cultura algodoeira, a região atingiu seu apogeu econômico, levando a um grande adensamento populacional. A atividade mineradora, entre as décadas de 1930 e 1940, ainda que de forma pontual, tornou-se outro fator de forte impacto ambiental. Recentemente, a atividade cerâmica é a que chama mais a atenção, não só pelo desmatamento, como também pela retirada da argila dos baixios, o que na visão de Sampaio *et al* (2003) deixa crateras imprestáveis para a agricultura, a menos que fosse feito um esforço planejado de preenchimento e nivelamento.

Segundo Costa *et al* (2009), a pressão antrópica, pretérita e atual, mostra-se como causa potencial do processo de degradação do bioma caatinga no núcleo de desertificação do Seridó. Para as áreas mais degradadas, mesmo abandonadas após uso agrícola, são constatados processos de desertificação, com grande dificuldade de regeneração de espécies vegetais.

O núcleo de Cabrobó (PE) é formado pelos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Floresta e Itacuruba (BRASIL, 2007).

Cordeiro e Mansefú (2001) e Chaves *et al* (2004) identificaram problemas de salinização na ilha de Assunção, no Município de Cabrobó – PE, principalmente nas áreas mais rebaixadas que apresentam uma drenagem limitada.

Sampaio *et al* (2003) afirmam que dada a aridez e os solos rasos, a capacidade de suporte sempre foi limitada, o que fez a população se localizar em ilhas no rio São Francisco e nos poucos baixios mais férteis. A região apresentou um crescimento populacional a partir da expansão da pecuária, mas esse crescimento foi modesto até o advento da irrigação, por isso, historicamente a ação humana tem sido limitada e pontual. O principal problema apontado por estes autores é a salinização, em função do cultivo continuado de cebola e alho, com irrigação e sem condições adequadas de drenagem.

Segundo Sales (2006), ao mesmo tempo em que a atividade agrícola irrigada faz surgir áreas salinizadas, a pecuária extensiva tem levado ao sobrepastoreio, constituindo-se causas fundamentais da degradação.

Sá, Sá e Silva (2006) apresentam uma escala de severidade da desertificação, segundo a qual possuem um grau severo aquelas áreas que sofreram desmatamento e estão ocupadas por atividade agropecuária, somando 14, 72% da área por eles delimitada. Ainda segundo esta escala, considera-se como grau acentuado de desertificação as áreas cobertas

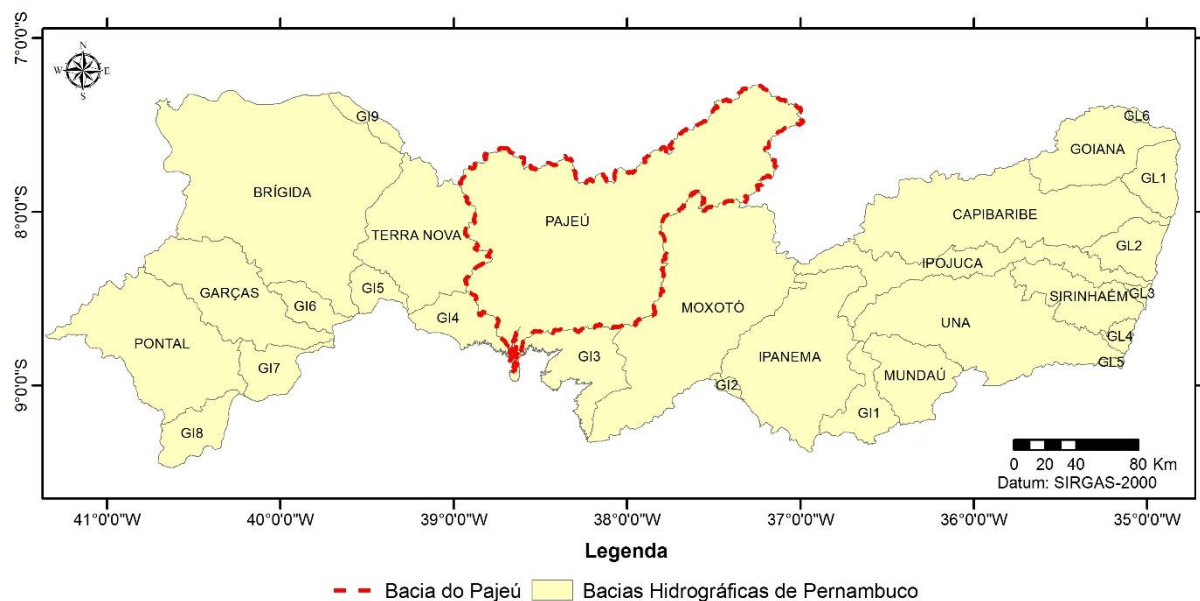
predominantemente por uma caatinga arbustiva, secundária, que foi alterada pela ação humana, principalmente pela substituição por cultivos, área que soma 76,41%, totalizando 91,13% da área delimitada com grau acentuado e severo de degradação.

Sá e Angelotti (2009) apontam, além do sobrepastoreio e da salinização – em função do manejo inadequado dos solos – o desmatamento como uma das principais causas da degradação no núcleo de desertificação de Cabrobó.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

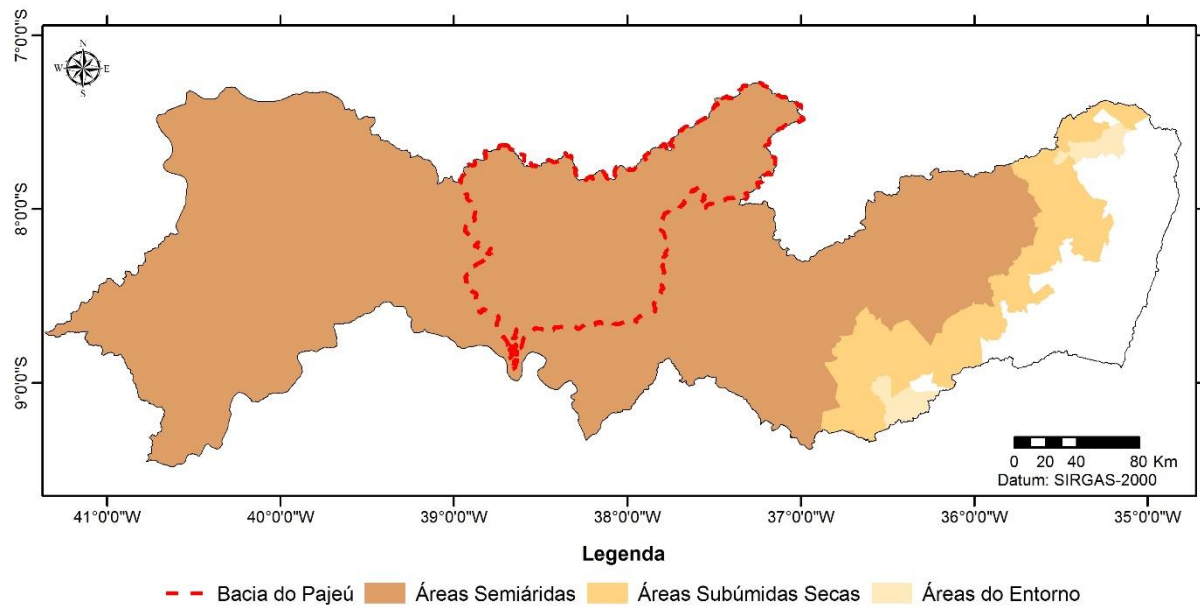
A bacia hidrográfica do Rio Pajeú (Figura 1) é a maior bacia de Pernambuco, com uma área de 16.838,70km², que corresponde a 17,02% da área do Estado (PERNAMBUCO, 1998). Está localizada, em sua totalidade, em Pernambuco, formando a Unidade de Planejamento Hídrico UP9, entre 7°6'20" e 8°56'01" de latitude sul, e 36°59'00" e 38°57'45" de longitude a oeste de Greenwich.

Figura 1 – Localização da área de estudo no Estado de Pernambuco

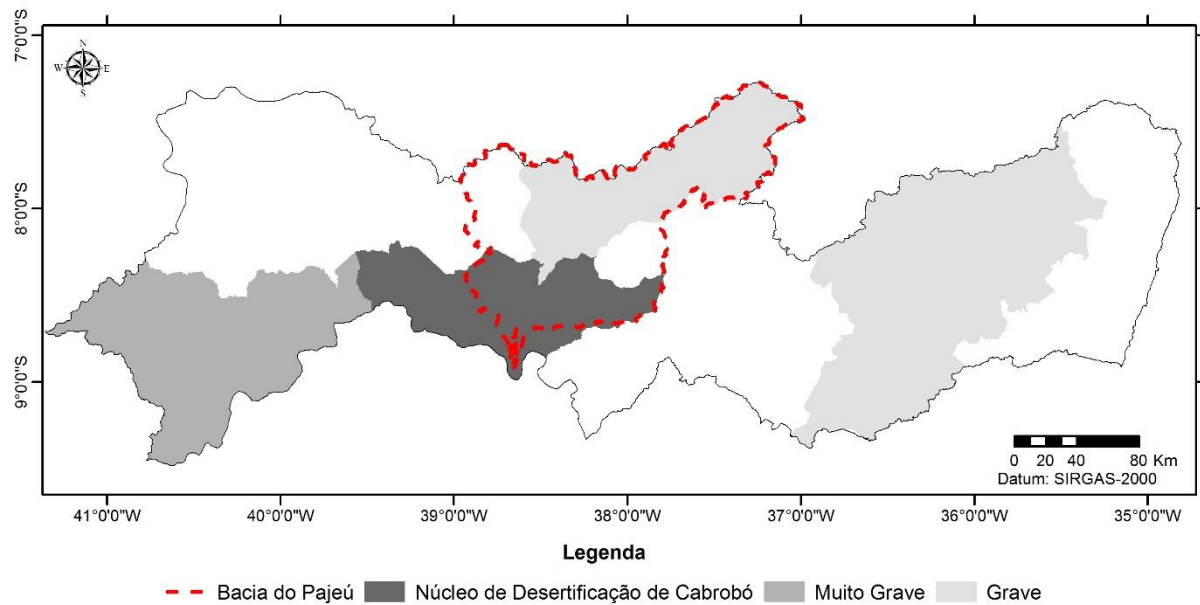


Fonte: Adaptado de Pernambuco (2006).

No contexto das áreas suscetíveis à desertificação (ASDs) do estado de Pernambuco, a bacia do Pajeú está totalmente inserida na região semiárida (Figura 2). A bacia do Pajeú está, ainda, parcialmente inserida no Núcleo de Desertificação de Cabrobó, e na classificação das áreas afetadas por desertificação adotada pelo Ministério do Meio Ambiente do Brasil (BRASIL, 2007), uma parcela significativa da bacia foi classificada na categoria “grave”, como pode ser visto a partir da Figura 3.

Figura 2 – Áreas Suscetíveis à Desertificação de Pernambuco

Fonte: Adaptado de Pernambuco (2006).

Figura 3 – Áreas Afetadas por Processos de Desertificação em Pernambuco

Fonte: Adaptado de Pernambuco (2006).

3.1 Clima

No semiárido pernambucano o ritmo das precipitações é ditado pela atuação de sistemas atmosféricos de grande escala, mesoescala e microescala. Dentre os de grande escala, destacam-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as frentes frias; em mesoescala, os vórtices

ciclônicos de altos níveis (VCAN) e; em microescala ocorrem as circulações orográficas e pequenas células convectivas (MOLION; BERNARDO, 2002). Na bacia do Pajeú, especificamente, os principais sistemas atmosféricos que respondem pela formação dos maiores volumes de chuva são a ZCIT e os VCANs.

A ZCIT é caracterizada por uma extensa região de convergência dos ventos alísios nordeste com os alísios de sudeste, oriundos do anticiclone subtropical do hemisfério norte e do anticiclone subtropical do hemisfério sul, respectivamente (HASTENRATH, 1985). Outra característica é estar localizada na região do cavado equatorial, que apresenta áreas de máxima temperatura da superfície do mar, possibilitando convergência de massa nos trópicos, dando origem a uma extensa banda de nebulosidade.

A ZCIT apresenta movimento norte-sul, podendo alcançar 5° de latitude Sul e 10° a 14° de latitude norte, no Atlântico. Este movimento ocorre com maior intensidade sobre o continente asiático e sobre a Austrália, com alcance de 20° Sul e 30° Norte.

As variações do posicionamento da ZCIT sobre o Nordeste do Brasil (NEB), por sua vez, estão fortemente relacionadas com o “Padrão Dipolo do Atlântico”. O Padrão do Dipolo no oceano Atlântico Tropical se configura com fase positiva e negativa. A fase positiva do Dipolo é o padrão de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) com sinal positivo ao norte e negativo ao sul do equador sobre o Atlântico Tropical, sendo, de um modo geral, desfavorável à precipitação sobre o norte do NEB. A fase negativa do Dipolo é o padrão de anomalias de TSM com sinal negativo ao norte e positivo ao sul do equador sobre o Atlântico Tropical, sendo, nesse caso, favorável à precipitação sobre o norte do NEB (MOURA; SHUKLA, 1981).

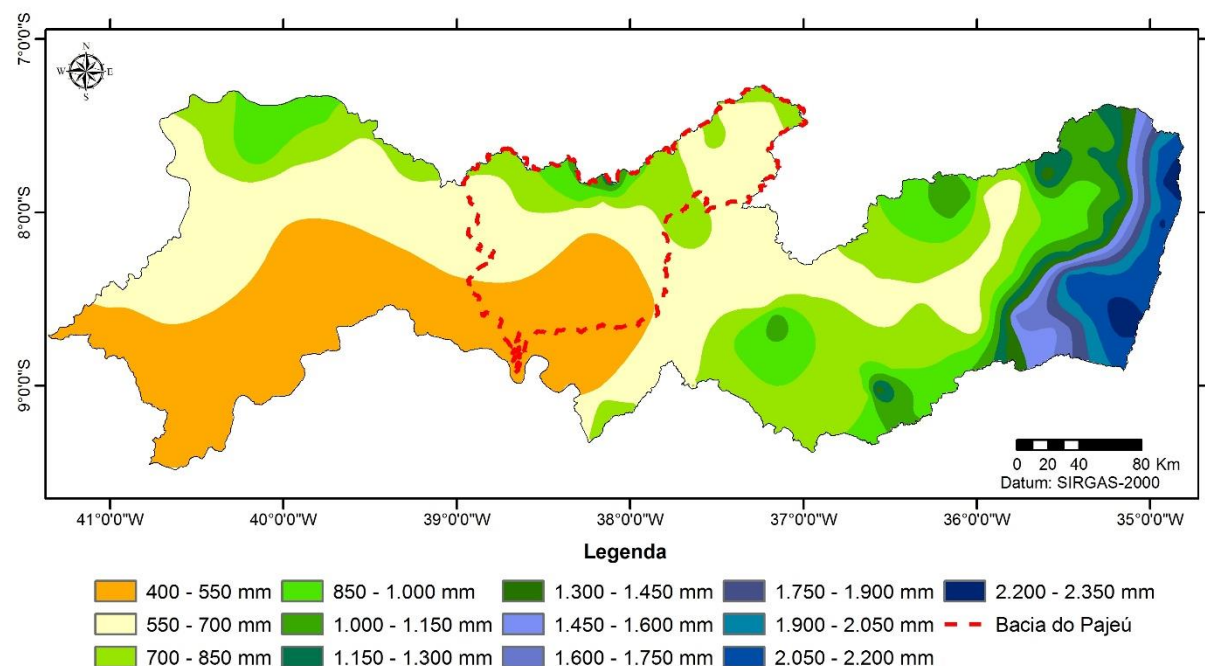
Os VCANs são caracterizados por centros de pressão relativamente baixa e que se originam na alta troposfera, cujo centro tem por característica ser frio. Uma particularidade que os Vórtices apresentam é a de provocar nebulosidade e grandes totais pluviométricos em sua periferia (borda) e tempo estável em seu centro, onde há movimentos verticais subsidentes. Seu deslocamento é em torno de 4° a 6° de longitude, sentido leste a oeste (FERREIRA; MELO, 2005; MOLION; BERNARDO, 2002).

Os VCANs que penetram na região Nordeste do Brasil são formados sobre o oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória, normalmente, é de leste para oeste, com maior frequência entre janeiro e fevereiro. Seu tempo de vida varia, em média, entre 7 e 10 dias, período em que se observa a formação de nuvens causadoras de chuva em sua periferia, enquanto que em seu centro há subsidência, inibindo a formação de chuva (FERREIRA; MELLO, 2005). Constituem, portanto, um sistema com alta significância

na precipitação do NEB, atuante principalmente no verão austral. São transientes, variam muito de posição e não possuem uma sub-região preferencial para atuar, embora possam modificar as condições de tempo em todo o Nordeste brasileiro por vários dias, como observaram Kousky e Gan (1981).

Pode-se afirmar que a atuação da ZCIT e dos VCANs respondem pela maior parcela do total anual de precipitação na bacia do Pajeú. As chuvas, nesta região, porém, não se distribuem de forma homogênea, elas são mais elevadas na porção norte e diminuem gradativamente em direção ao sul, com os mínimos valores encontrados no entorno do rio São Francisco. A partir da Figura 4 é possível observar que na bacia do Pajeú são encontradas isoietas que vão de 400mm até mais de 1.300mm anuais, cujo máximo valor está associado ao município de Triunfo, mas a média da bacia, levando-se em consideração todos os postos pluviométricos, fica em torno de 700mm anuais.

Figura 4 – Precipitação média anual de Pernambuco



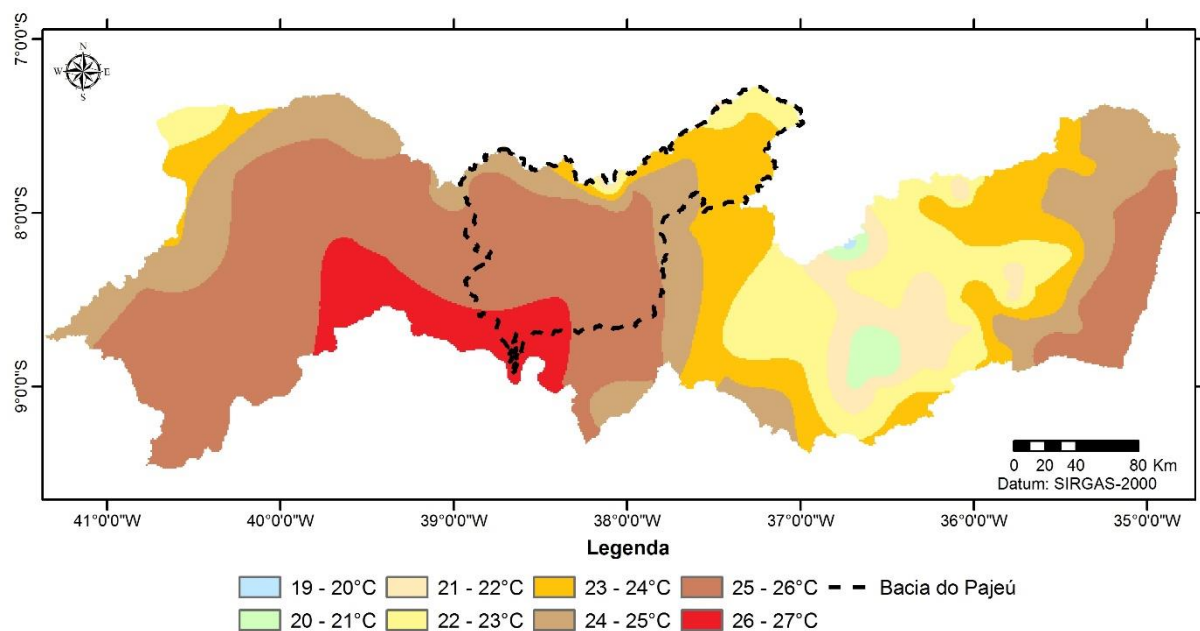
Fonte: Adaptado de Pernambuco (2006).

Em Triunfo a topografia propicia o surgimento de um “brejo de altitude”, uma mancha de umidade em meio ao clima semiárido, como bem caracterizaram Andrade e Lins (2000). A combinação entre relevo e exposição ao fluxo predominante de ventos propicia a diminuição das temperaturas e o aumento das chuvas, além da condensação do vapor diretamente na superfície dos vegetais, que funciona como uma “precipitação oculta”, como apontou Melo (1988), que mesmo não sendo registrada pelos pluviômetros, contribui com o aporte de água

no solo ao longo do ano. Os brejos de altitude são considerados áreas de exceção no semiárido por uma conjuntura de fatores, não só os de ordem climática, pois apresentam vegetação do tipo “mata serrana” e os solos são mais profundos e mais aptos ao desenvolvimento das lavouras, o que reflete sobre os tipos de organizações socioeconômicas destas áreas.

As temperaturas médias anuais também apresentam um padrão de variação norte-sul na bacia do Pajeú. As médias térmicas anuais são mais baixas na porção norte (isotermas de 22 a 23°C), onde as cotas altimétricas são mais elevadas na Encosta Setentrional do Planalto da Borborema, e se elevam gradativamente em direção ao sul, atingindo valores entre 26 e 27°C (Figura 5) no entorno do Rio São Francisco. Há, portanto, duas regiões distintas na bacia do Pajeú, a porção norte onde, de maneira geral, chove mais e as temperaturas são mais amenas, e a porção sul, onde o clima é mais quente e seco.

Figura 5 – Temperatura média anual de Pernambuco



Fonte: Adaptado de Pernambuco (2006).

A pluviometria na bacia do Pajeú além de ser baixa é mal distribuída ao longo do ano. No período de janeiro a abril, ou fevereiro a maio, são precipitados de 60 a 70% do volume anual das chuvas, e no restante do ano se configura um longo período de estiagem. O município de Triunfo se apresenta como exceção, pois as precipitações são mais volumosas e o período chuvoso se estende de janeiro a julho. As temperaturas são mais elevadas entre outubro e dezembro, e o mês mais frio é julho.

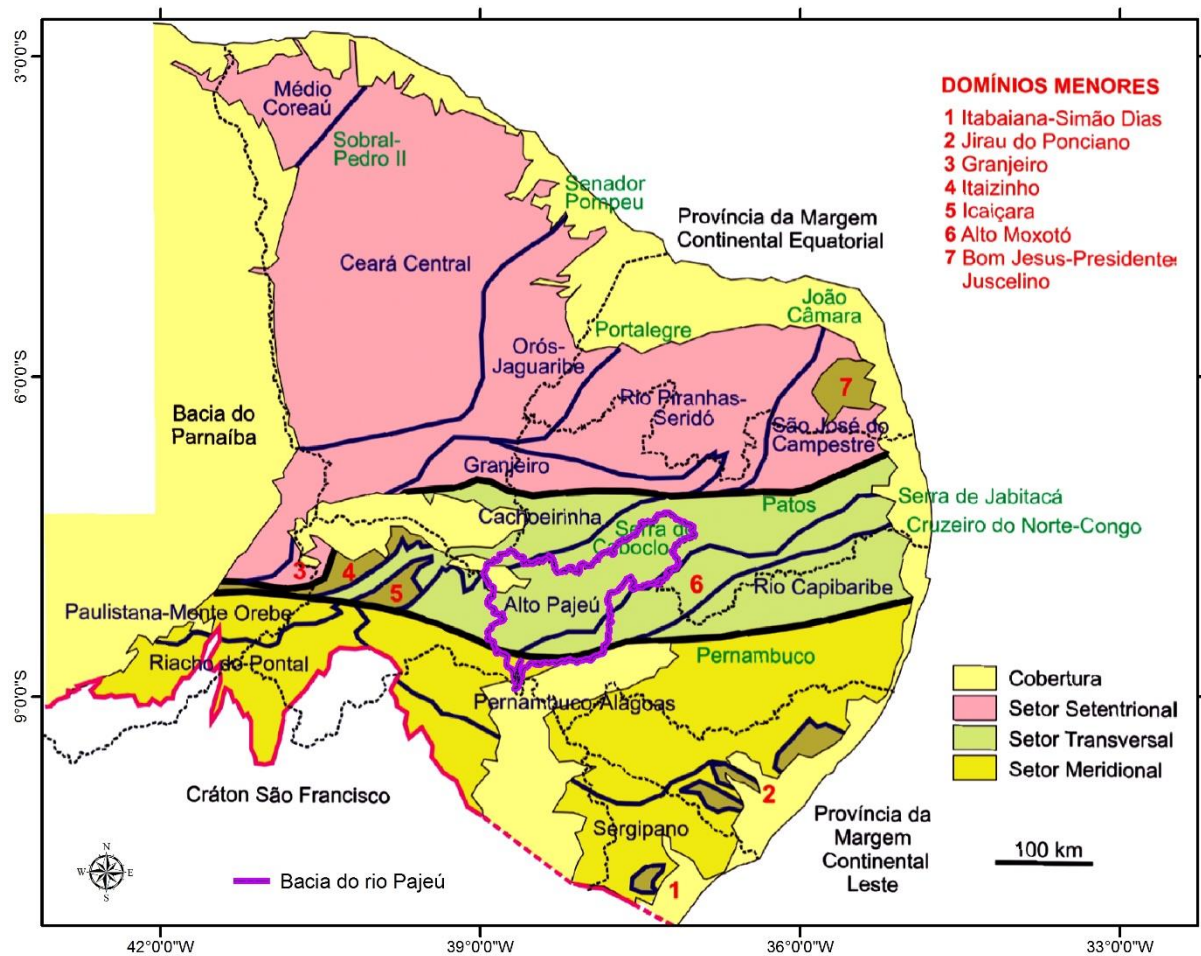
O mês de março é o mais chuvoso em toda a região, época em que o semiárido pernambucano está sob a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o mês de julho o mais frio. Os valores médios de precipitação anual destes postos pluviométricos vão de 495,8mm em Floresta a 705,4mm em Mirandiba, representando os valores médios da bacia, com a grande exceção representada por Triunfo, com 1.259,5mm de chuvas anuais.

Mesmo dentro do considerado período chuvoso da região, entre fevereiro e maio (PERNAMBUCO, 1994), as chuvas não precipitam de maneira regular, elas são intercaladas por longos intervalos de dias secos, os veranicos, como foi assinalado por Soares e Nóbrega (2010; 2009). Durante a ocorrência de veranicos a forte insolação e as altas taxas de evapotranspiração, que são características comuns do semiárido, prejudicam o aproveitamento hídrico das plantas e das culturas agrícolas de sequeiro.

3.2 Geologia e relevo

A bacia do Pajeú está inserida, geologicamente, na Província Borborema (ou Sistema Orogênico Borborema), um mosaico de porções de embasamento, micro continentes e faixas orogênicas do Arqueano ao Neoproterozoico separadas por zonas de cisalhamento transcorrente e de empurrão. Na rede de zonas de cisalhamento, as maiores correspondem aos chamados lineamentos Patos e Pernambuco, que delimitam os três setores da Borborema: o setor transversal, confinado entre os dois lineamentos; o setor setentrional, ao norte do lineamento Patos e; o setor meridional, ao sul do lineamento Pernambuco (HASUI *et al.*, 2012). A maior parte da bacia do Pajeú (cerca de 95%) está situada no setor transversal, havendo uma extensão menor de terras no setor meridional, como pode ser observado a partir da Figura 6.

Figura 6 – Contextualização na Província Borborema

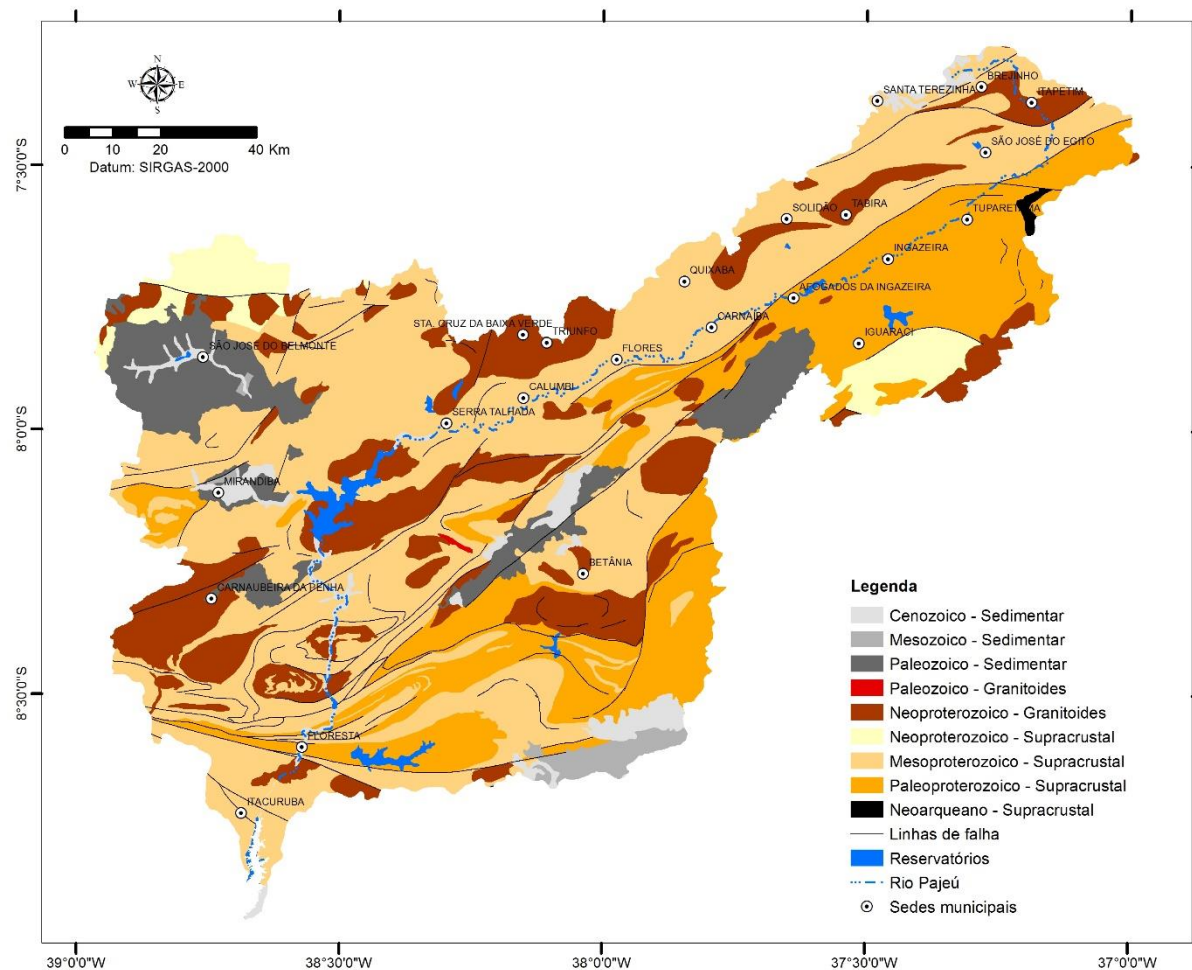


Fonte: Adaptado de Hasui *et. al.* (2012).

Na porção da bacia do Pajeú pertencente ao setor transversal da Borborema se destacam os terrenos Alto Pajeú e Alto Moxotó, formados por complexos do ciclo Cariris Velhos, com idades entre 1,1 e 0,95 milhões de anos (TORRES; PFALTZGRAFF, 2014; GOMES, 2001). A cronologia dos principais domínios geológico da bacia do Pajeú está representada na Figura 7.

O domínio supracrustal, constituído de rochas metamórficas, é o predominante na bacia do Pajeú, representando 71,1% de sua área. As unidades litoestratigráficas que compõem este domínio supracrustal datam, principalmente, do mesoproterozoico e do paleoproterozoico, em seus litotipos principais se encontram rochas metamórficas de origem ígnea como o anfibolito, Metadiorito, Metagranodiorito, Migmatito, Ortogneisse, Paragneisse, Rochas Metalvulcânicas (básicas e ácidas), Metagranito e Metabasalto, mas também são encontradas rochas metamórficas de origem sedimentar a exemplo do Quartzito, Metacalcário, Xisto e Mármore.

Figura 7 – Mapa geológico simplificado da bacia do Pajeú



Fonte: Adaptado de Torres e Pfaltzgraff (2014), Bizzi *et. al.* (2003) e Gomes (2001).

Esse grande mosaico de rochas, de idade e composição mineralógica diferente, representa diferentes graus de resistência ao intemperismo e, a depender da posição no relevo e do tempo de exposição aos agentes exógenos, dá origem a solos igualmente diversos, oferecendo maior ou menor suscetibilidade à erosão.

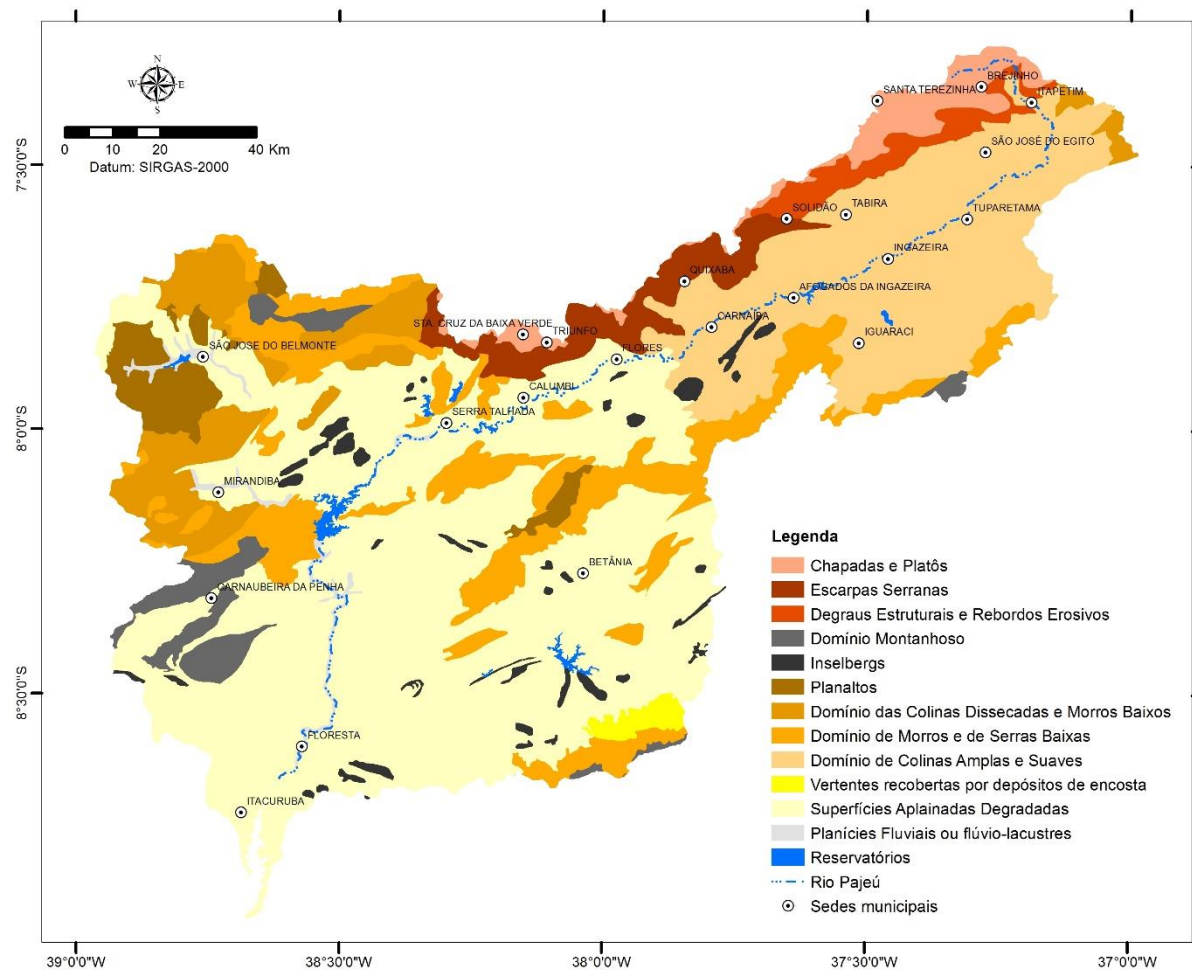
O domínio dos granitoides é o segundo mais representativo da bacia do Pajeú (17,5% da área). Suas unidades litoestratigráficas datam, principalmente, do neoproterozoico, e possuem como litotipos principais rochas ígneas plutônicas como Granito, Granodiorito, Monzogranito, Sienito, Sienogranito, Monzonito, Quartzio Diorito e Quartzio Monzonito. Os granitoides representam algumas das áreas de maior altitude na bacia do Pajeú, dando origem a inselbergs e formas de relevo montanhoso e de escarpas serranas, como se verifica na região de Triunfo (Serra da Baixa Verde), na Serra da Matinha, entre Carnaíba e Solidão, e na área serrana de Carnaubeira da Penha.

O domínio sedimentar (ou sedimentos), por sua vez, representa, apenas, 11,4% da bacia do Pajeú. Pertencem a este domínio os sedimentos inconsolidados (areia, argila e cascalho), os sedimentos aluvionares, os sedimentos detríticos-lateríticos, ambos do Cenozoico (Quaternário), além de unidades geológicas paleozoicas e mesozoicas, cujo litotipo é formado por rochas como Arenito, Calcário, Folhelho, Conglomerado e Siltito, e podem ser encontradas, sobretudo, nas bacias sedimentares de Fátima, Betânia, São José do Belmonte, Mirandiba, Carnaubeira da Penha e na bacia do Jatobá, esta última parcialmente inserida na área de estudo, a sudeste, tangenciada pelo lineamento Pernambuco e correspondendo à Serra Negra de Floresta, que serve de limite entre este município e Inajá.

Na região semiárida, a estrutura geológica contribui, significativamente, para a gênese e evolução das paisagens, tanto em função da dinâmica dos fatores endógenos ativos quanto dos passivos, como afirmaram Bastos e Cordeiro (2012). Os agentes endógenos ativos respondem pela orogênese através de dobramentos e falhamentos, enquanto que os agentes endógenos passivos representam a maneira em que as rochas estão distribuídas pela superfície e como elas exercem resistência contra os efeitos do intemperismo e da erosão. Assim, o relevo da bacia do Pajeú reflete a existência de processos orogenéticos responsáveis pelo soerguimento de diversas áreas, bem como dos processos denudacionais decorrentes, em grande parte, das oscilações climáticas do quaternário, que promoveram o surgimento de uma superfície aplainada (depressão sertaneja), entrecortada por serras cristalinas mais resistentes ou planaltos sedimentares residuais.

Na sequência são apresentados os mapas de relevo (Figura 8), altimetria (Figura 9) e declividade (Figura 10). Através destes mapas é possível observar que, de uma maneira geral, na fachada norte da bacia estão presentes as feições de relevo com maior altitude, acima dos 700m, representadas pelas Escarpas Serranas, Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos, Chapadas e Platôs, pelo Domínio Montanhoso, que se destacam também na região serrana de Carnaubeira da Penha, a oeste, além dos Inselbergs. No entorno destas áreas de relevo movimentado e altitude elevada são encontradas as maiores declividades, com predomínio do intervalo de 25 a 45°, e ultrapassando os 45° em algumas poucas áreas. Estas regiões com elevadas altitude e declividade serão muito relevantes na mensuração da perda de solo anual da bacia do Pajeú.

Figura 8 – Mapa das unidades de relevo da bacia do Pajeú



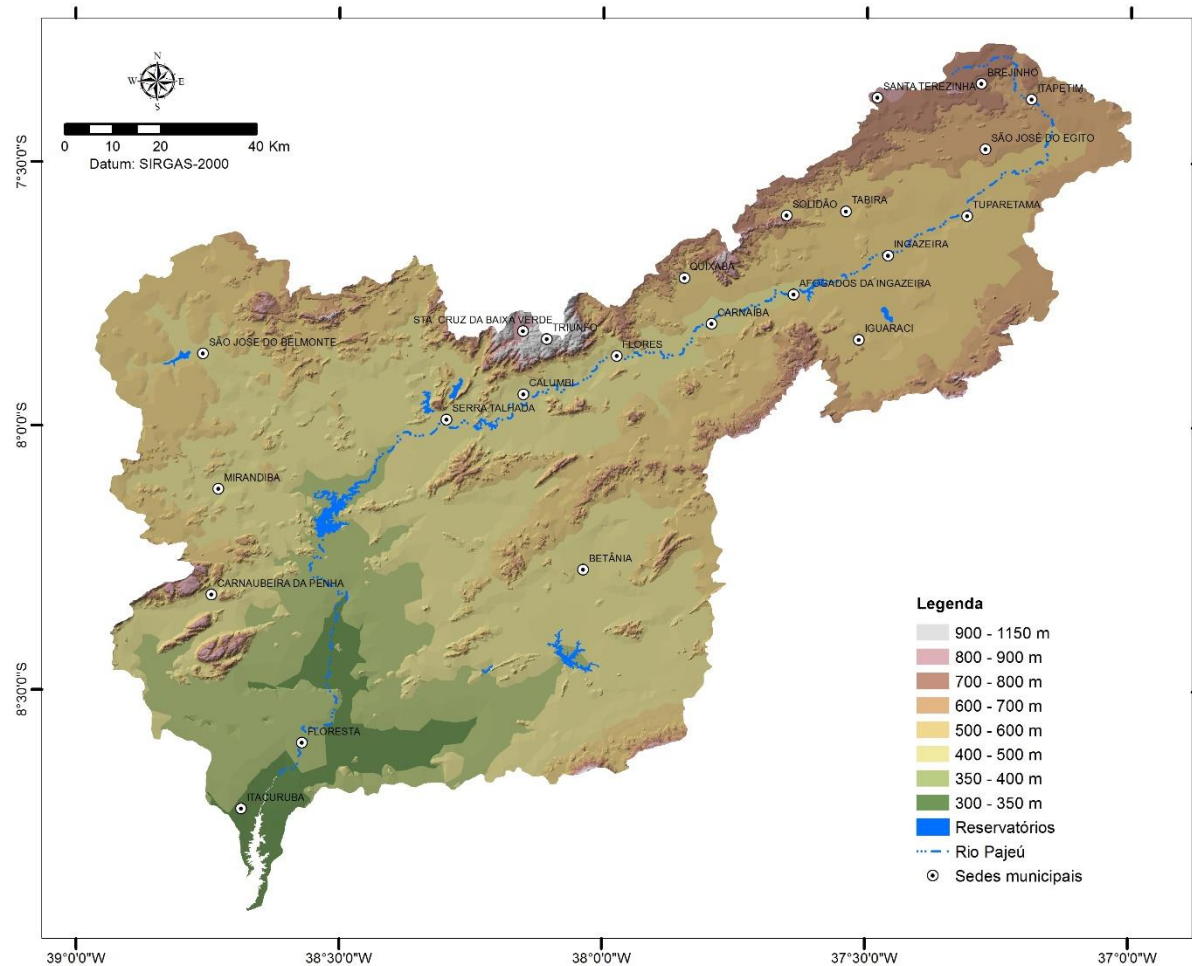
Fonte: Adaptado de Torres e Pfaltzgraff (2014).

Entre 500 e 700m, se encontram os Planaltos, as Colinas Dissecadas e Morros Baixos, Morros e Serras Baixas, as Colinas Amplas e Suaves e as Vertentes Recobertas por Depósitos de Encosta. As Planícies Fluviais ou Flúvio-Lacustres, encontradas na várzea do Pajeú e de alguns dos seus principais afluentes, e as Superfícies Aplainadas Degradadas, que representa a Depressão Sertaneja, possuem as mais baixas cotas altimétricas, entre 300 e 500m, bem como nelas predominam as menores classes de declividade, de 0 a 2° (relevo plano) e de 2 a 5° (suave ondulado). Em função da baixa declividade, estas áreas geralmente apresentam baixo potencial natural de perda de solo.

A porção nordeste da bacia do Pajeú, formada pelo trecho à montante de Serra Talhada, está inserida no Planalto da Borborema. As superfícies elevadas que formam os interflúvios da bacia nesse trecho (Escarpas Serranas, Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos, Chapadas e Platôs, ao norte; Domínio de Morros e Serras Baixas, ao sul) representam os chamados Maciços

Remobilizados do Domínio da Zona Transversal, onde se “encaixa” a Depressão Intraplânica do Pajeú (CORRÊA *et al.*, 2010).

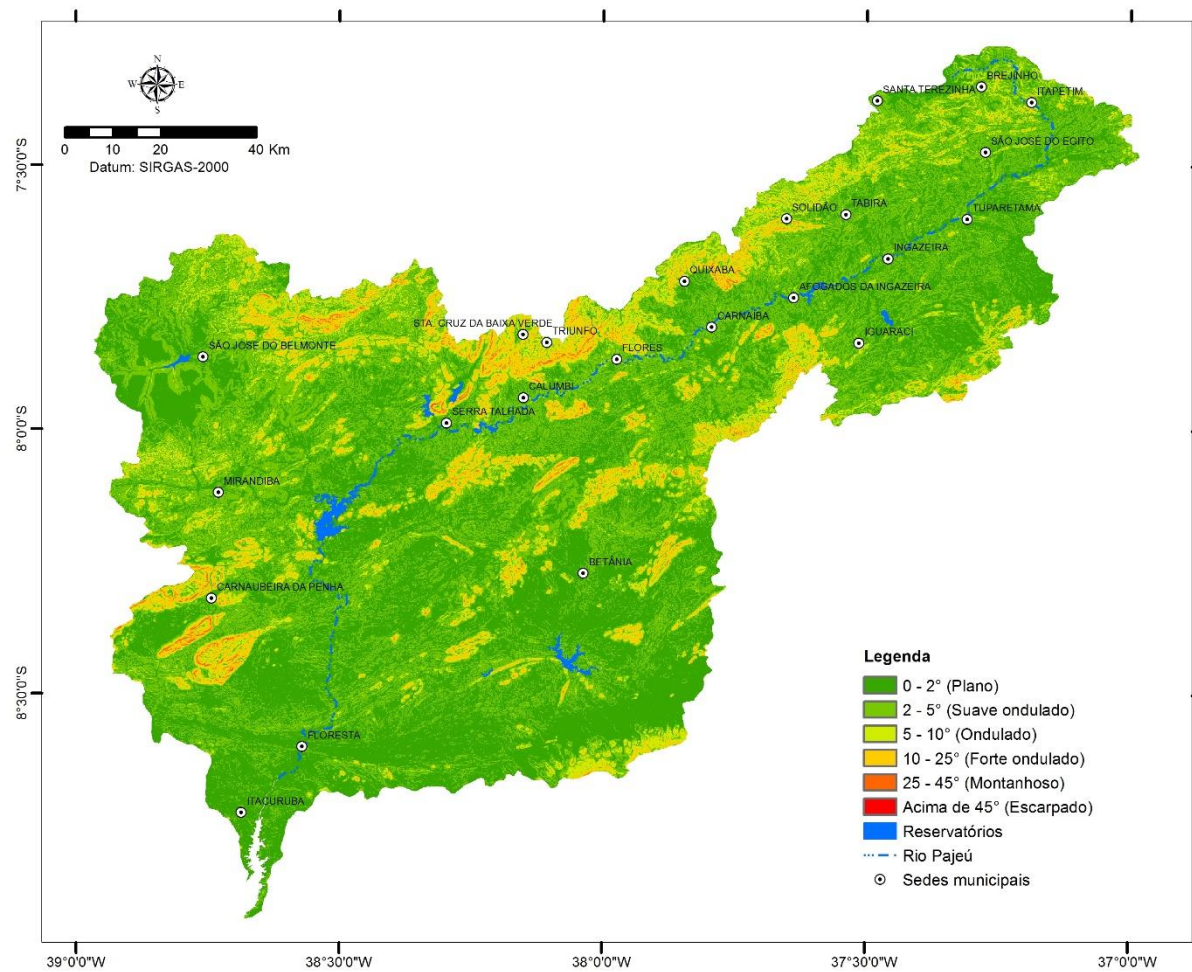
Figura 9 – Mapa altimétrico da bacia do Pajeú



Fonte: Adaptado de Miranda (2005).

O domínio da Zona Transversal corresponde à área morfologicamente mais afetada pelos arqueamentos que atuaram sobre o planalto, exibindo as cimeiras mais elevadas e os relevos mais vigorosos. Este setor do Planalto da Borborema é fortemente condicionado pela presença de intrusões brasileiras de diversas dimensões, que resultaram em uma série de maciços residuais, alguns com expressiva área aflorante, com destaque para o batólito da Serra da Baixa Verde, que atinge os 1.185m de altitude. Confinada entre estes maciços residuais da Zona Transversal desenvolve-se a Depressão Intraplânica do Pajeú, um compartimento rebaixado onde se instalou a bacia hidrográfica do Pajeú (CORRÊA *et al.*, 2010).

Figura 10 – Classes de declividade da bacia do Pajeú



Fonte: Adaptado de Miranda (2005).

O clima semiárido, o material de origem (rochas) e a disposição do relevo são fatores de formação que imprimem as características mais marcantes dos principais solos encontrados na bacia do Pajeú.

3.3 Solos

Não há uma definição universalmente aceita para o solo, vários conceitos são atrelados a esse termo graças a variedade de interesse quanto à ampla possibilidade do uso dos solos. Há, no entanto, uma definição que, segundo Santos *et al.* (2005), é normalmente empregada em nível mundial, particularmente para atender a trabalhos pedológicos, como os de levantamentos de solos:

Corpos naturais independentes constituídos de materiais minerais e orgânicos, organizados em camadas e, ou, horizontes resultantes da ação de fatores de formação, com destaque para a ação biológica e climática sobre um determinado material de origem (rocha, sedimentos orgânicos etc.) e numa determinada condição de relevo, através do tempo (SANTOS *et al.*, 2005) (grifo nosso).

Dentre as classes de solo predominantes na bacia do Pajeú se destacam os Luvisolos, que cobrem cerca de 27,38% da bacia, os Neossolos Litólicos, que representam 24,02% da bacia, e os Planossolos, com cobertura de 18,89% da bacia. Outras classes de solo encontradas são os, os Cambissolos e os Neossolos (Quartzarênicos, Regolíticos e Flúvicos), como pode ser verificado na Figura 11.

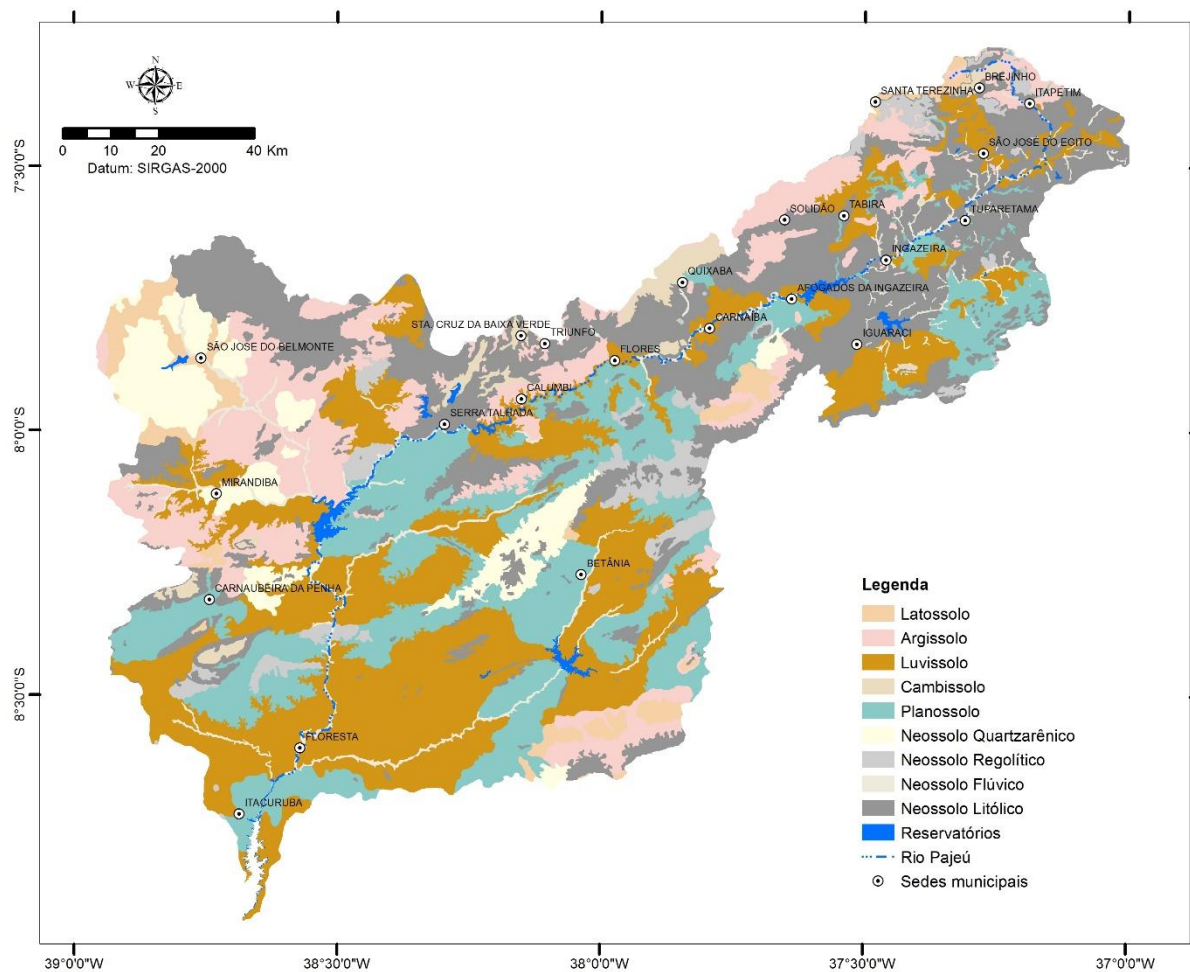
Os Luvisolos são encontrados em diversas regiões da bacia do Pajeú, desde o Alto Pajeú, até as terras do baixo curso. São solos minerais, eutróficos, não hidromórficos, bem a imperfeitamente drenados, que apresentam elevada soma de bases, tipicamente pouco profundos, com a presença de um B textural subjacente a um horizonte A moderado, ou proeminente ou fraco (PRADO, 2008). Quimicamente, apresentam fertilidade natural alta, graças a quantidade de bases disponíveis na solução do solo. Porém as condições físicas destes solos são fortemente limitantes ao uso agrícola, pois são facilmente erodidos em função de serem muito rasos e apresentarem diferença textural entre seus horizontes. Foram classificados como “terras agricultáveis de potencial restrito” e de “potencial muito baixo” para irrigação, de acordo com o Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (EMBRAPA SOLOS, 2000).

Os Planossolos são frequentemente encontrados nas áreas rebaixadas da Depressão Sertaneja e em alguns trechos de menor declividade no Pediplano Central da Borborema. São solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, cuja característica principal é a presença de um horizonte B plânico, subjacente a um horizonte (A) ou (A+E) mais arenoso e de uma mudança textural abrupta (EMBRAPA SOLOS, 2000). O horizonte B plânico é adensado com teores elevados de argila, o que favorece a retenção de água formando um “lençol de água suspenso”, de existência temporária. Apresenta permeabilidade lenta ou muito lenta, cores acinzentadas ou escurecidas, podendo ou não possuir cores neutras de redução, com ou sem mosqueados (IBGE, 2007). Essa condição de má drenagem contribui para o aumento dos teores de sais, com elevada saturação por sódio trocável, tornando-os extremamente susceptíveis à salinização/sodificação quando cultivados inadequadamente.

A forte diferença textural entre o horizonte A (arenoso) e o B (plânico) favorece a erosão nos Planossolos. Em algumas situações extremas, o horizonte A é totalmente erodido, expondo

na superfície o horizonte B, o que dá origem aos “salões”, como são conhecidos estes terrenos “compactados” (duros) no semiárido. Diante das limitações físicas e químicas que apresentam, estes solos foram classificados como aptos para “pastagem natural”, com potencial muito baixo para irrigação (EMBRAPA SOLOS, 2000).

Figura 11 – Mapa pedológico da bacia do Pajeú



Fonte: Adaptado de Embrapa Solos (2001).

Os Neossolos Litólicos são encontrados, principalmente, na fachada norte da bacia, no trecho que corresponde ao relevo do Pediplano Central do Planalto da Borborema e do Planalto Sertanejo. São solos rasos ou muito rasos, com horizonte A, exceto o chernozêmico, assentado diretamente sobre a rocha. A maior limitação desses solos é a pequena profundidade efetiva, que dificulta o desenvolvimento radicular das plantas e culturas agrícolas, dificuldade tanto mais expressiva quanto mais próxima a rocha estiver da superfície, e torna estes solos bastante suscetíveis à erosão. Tais características conferem aos Neossolos Litólicos pouca capacidade de sustentabilidade da vegetação (SHINZATO et al., 2008). Foram classificados como “não

indicados para atividades agrícolas” e como detentores de potencial muito baixo para irrigação (EMBRAPA SOLOS, 2000).

Os Neossolos Quartzarênicos são encontrados, principalmente, nas bacias sedimentares de São José do Belmonte, Bacia de Fátima, Betânia, Mirandiba e do Jatobá. São constituídos pela sequência de horizontes A-C, essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (EMBRAPA SOLOS, 2006). O elevado teor de areia em sua granulometria garante uma alta suscetibilidade à erosão, seja hídrica ou eólica. Em função das suas limitações físicas e químicas foram classificados como “terras agricultáveis de potencial restrito” (EMBRAPA SOLOS, 2000).

Os Neossolos Regolíticos podem ser encontrados em trechos do Alto Pajeú e próximo à cabeceira do Riacho do Navio, na divisa dos municípios de Betânia e Flores. São solos minerais, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, com relativa profundidade e horizonte A posicionado diretamente no C ou Cr. Apresentam textura média e arenosa, cores claras ou esbranquiçadas e minerais facilmente intemperizáveis (feldspatos potássicos) na fração areia e/ou cascalho (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992). As principais limitações para a atividade agrícola referem-se à baixa capacidade de armazenamento de água e de nutrientes. Apresentam aptidão agrícola para pastagens naturais, e um potencial muito baixo para irrigação (EMBRAPA SOLOS, 2000).

No leito e margens dos principais cursos d’água, incluindo o caudatário, são encontrados os Neossolos Flúvicos, solos derivados de sedimentos aluviais com horizonte “A” assente sobre horizonte C constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si (EMBRAPA SOLOS, 2006), com natureza física e química muito variada. Possuem sequência de horizontes A-C, eventualmente com evidências de gleização face à proximidade dos cursos de água, e ao lençol freático, em geral a pequena profundidade, sendo susceptíveis a eventuais inundações (SHINZATO et al., 2008).

Os Argissolos são mais comuns na fachada norte da bacia, nas áreas mais elevadas da Encosta Setentrional do Planalto da Borborema, e no entorno do Planalto Sertanejo e da Bacia de São José do Belmonte. São solos minerais, não hidromórficos, com profundidade variável – desde rasos a muito profundos – bem desenvolvidos, que apresentam horizonte B textural logo abaixo do A ou E, possuindo na parte superior teor maior de areia e na parte inferior maior quantidade de argila. A variação de areia e argila atribui uma drenagem rápida no A e lenta no B, o que permite uma acumulação maior de umidade e torna estes solos suscetíveis à erosão (EMBRAPA SOLOS, 2006). Foram classificados, de acordo com o Zoneamento

Agroecológico do Estado Pernambuco, como “terras agricultáveis de bom potencial” e com “potencial alto” para irrigação, por apresentarem boas condições físicas.

Os Latossolos aparecem nas bacias sedimentares de São José do Belmonte, Betânia, Fátima e do Jatobá, além de pequenos trechos da Depressão Sertaneja e na cabeceira do Rio Pajeú, em terras da Encosta Setentrional da Borborema. São solos extremamente maduros, profundos e intemperizados, possuidores de um horizonte “B” latossólico (Bw) de coloração amarelada – em função da presença de goethita, fração argila, essencialmente, caulínica, com baixos teores de óxido de ferro (Fe_2O_3), e baixa quantidade de bases, sendo, portanto, distróficos, o que compromete sua fertilidade natural e o torna pobre quimicamente (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992). São solos muito comuns em ambientes úmidos e sua existência no semiárido está relacionada fortemente com o material de origem e o relevo.

Os Cambissolos estão associados às áreas serranas, sendo encontrados em trechos da Encosta Setentrional da Borborema e em algumas serras isoladas na Depressão Sertaneja. Estes solos variam muito de um local para outro devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e condições climáticas em que são formados. No entanto, uma característica comum é o incipiente estágio de evolução do horizonte subsuperficial, apresentando, em geral, fragmentos de rochas permeando a massa do solo e/ou minerais primários facilmente alteráveis (reserva de nutrientes), além de pequeno ou nulo incremento de argila entre os horizontes superficiais e subsuperficiais (MANZATTO et al., 2002).

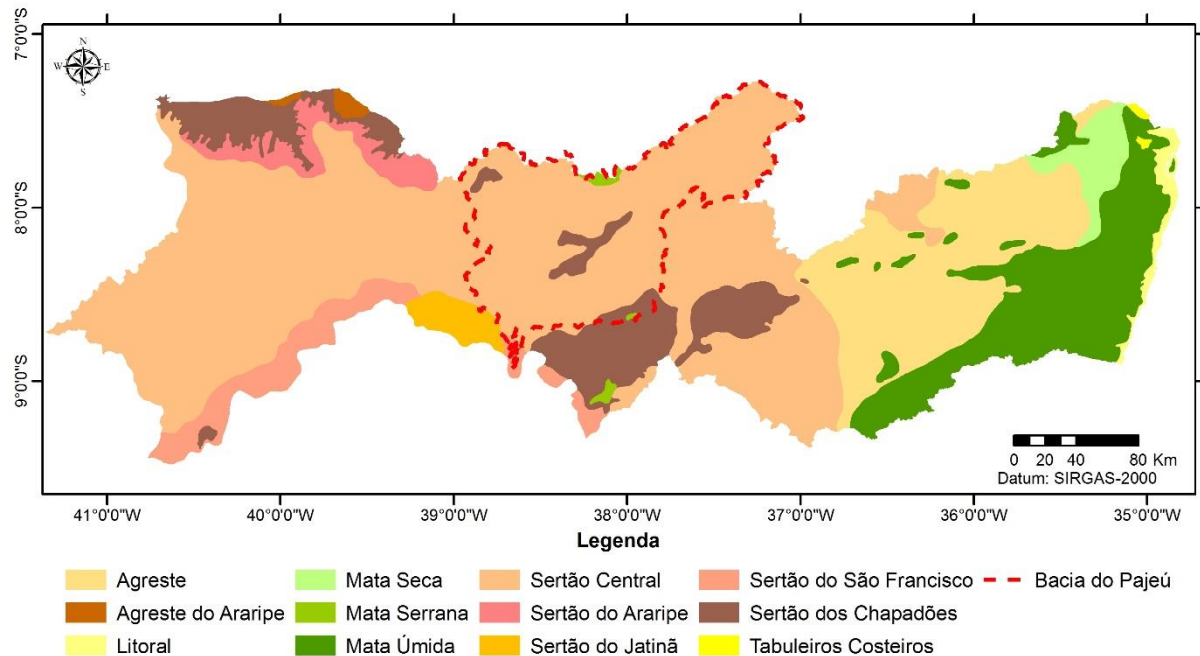
Em função da heterogeneidade de propriedades físicas e químicas, os Cambissolos podem ser de alto, médio e até mesmo baixo potencial agrícola, dependendo dos fatores restritivos que os mesmos podem apresentar. As principais restrições são: drenagem deficiente; dificuldades de manejo devido à alta pegajosidade da argila, níveis elevados de sodicidade, relevo movimentado; pedregosidade e/ou rochosidade; profundidade efetiva e o déficit hídrico devido ao clima regional, principalmente na região semiárida. A característica mais marcante e favorável ao uso agrícola é a alta fertilidade natural dos solos, sobretudo no contexto do ambiente semiárido (EMBRAPA SOLOS, 2000).

3.4 Vegetação

De acordo com a classificação fitogeográfica de Pernambuco (Figura 12), proposta por Andrade-Lima (2007), a bacia do Pajeú está inserida na Zona da Caatinga e na Subzona do Sertão. Esta subzona é subdividida em quatro regiões: “Sertão Central”, “Sertão dos Chapadões Areníticos”, “Sertão do São Francisco” e “Sertão do Jatinã”, mas apenas as duas primeiras

regiões são encontradas na bacia do Pajeú, que apresenta, ainda, vegetação do tipo “Mata Serrana”.

Figura 12 – Regiões fitogeográficas de Pernambuco



Fonte: Adaptado de Pernambuco (2006).

A Zona da Caatinga é a maior das zonas fitogeográficas pernambucanas. Caracteriza-se por uma vegetação de porte médio a baixo, tipicamente tropófila (decídua), rica de espinhos, na qual se interpõem Cactáceas e Bromeliáceas. O clima é seco e o solo em grande parte é raso. Fatores de solo, pluviosidade e altitude fazem variar de modo apreciável o aspecto da Caatinga (ANDRADE-LIMA, 2007).

Segundo Romariz (1962), a Caatinga é uma das formações vegetais mais difíceis de serem definidas, em vista da extrema heterogeneidade que apresenta, não só quanto à fisionomia, como quanto à composição. A sua característica mais acentuada e mais geral é a perda total das folhas durante a estação seca, mas após as chuvas tudo se modifica e a vegetação recupera-se rapidamente dos rigores da seca. As variações fisionômicas verificam-se não só em diferentes áreas, como também num mesmo local, segundo as condições climáticas, oferecendo à vegetação profundos contrastes entre as épocas secas e as chuvosas. Por isso, Kuhlmann (1974) afirma que a Caatinga é a alternância, nem sempre regular, do “verde-chuva” e do “cinza-seca”.

Na região fitogeográfica do Sertão Central, que corresponde à maior parcela da bacia do Pajeú, a vegetação é, em geral, arbórea, de pequeno porte. Há áreas, entretanto, em que pela

precariedade do solo ou pela devastação feita pelo homem, reduz-se a arbustiva ou quase nula (ANDRADE-LIMA, 2007).

A região dos Chapadões Areníticos, que na bacia do Pajeú pode ser encontrada nos municípios de Calumbi, Flores, São José do Belmonte, Serra Talhada e Floresta, apresenta solos profundos e uma vegetação que varia de arbustiva a arbórea baixa (ANDRADE-LIMA, 2007).

As Matas Serranas ou brejos de altitude, constituem, em Pernambuco, disjunções da floresta tropical perenifolia, dentro da Zona da Caatinga. Localizam-se, via de regra, nos níveis superiores das serras, quer graníticas, quer cretácicas, acima de cotas nunca inferiores aos 500m e progressivamente maiores, num sentido geral SE–NW, até os 1.100m (ANDRADE-LIMA, 2007). Na bacia do Pajeú, as matas serranas são encontradas na “Serra da Baixa Verde”, entre os municípios de Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde, e na “Serra Negra”, em Floresta, na divisa com o município de Inajá.

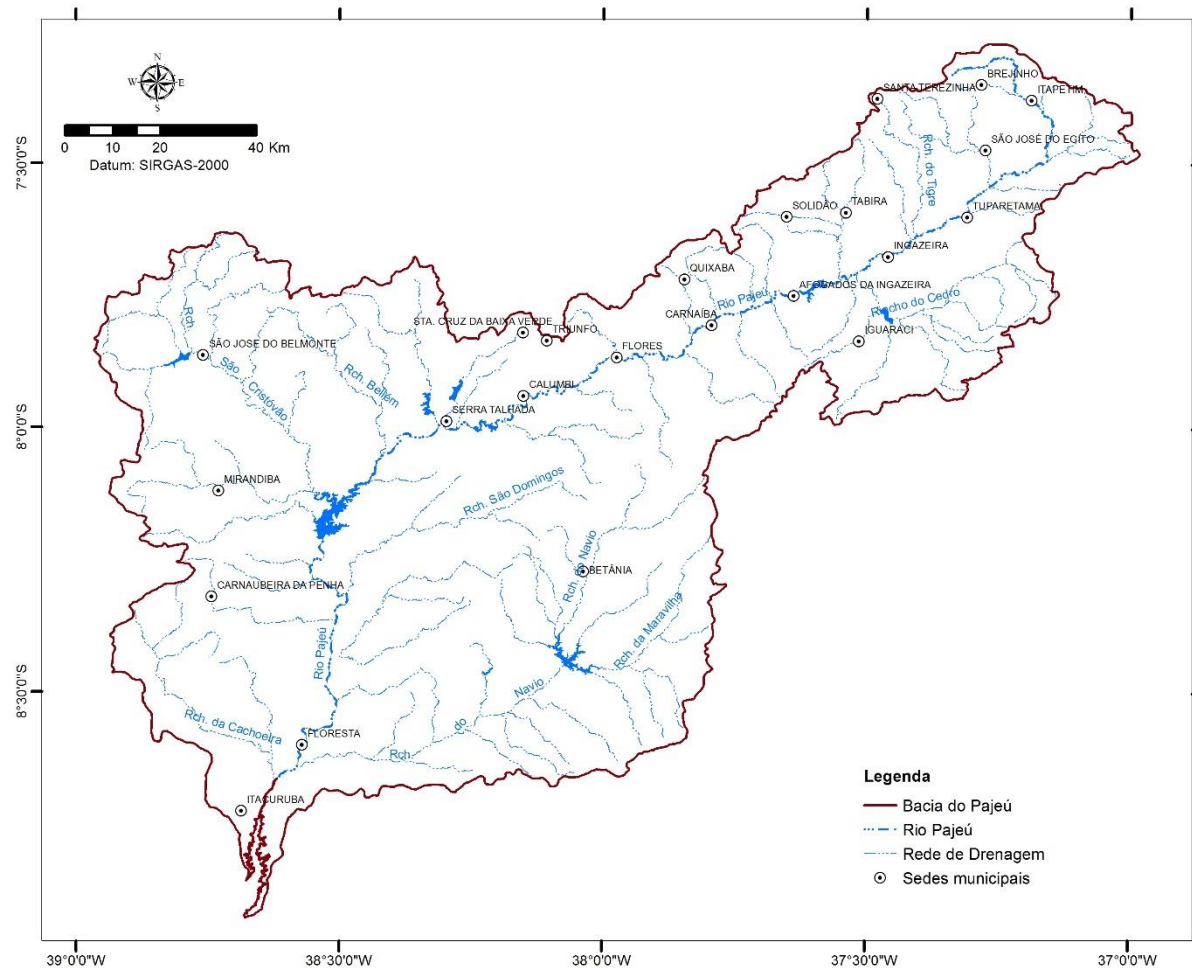
3.5 Hidrografia

Os diversos canais fluviais que formam a rede de drenagem da bacia do Pajeú apresentam regime de escoamento superficial intermitente, inclusive o caudatário, um reflexo da semiaridez regional. Os rios e riachos são alimentados pelas chuvas que ocorrem, principalmente, entre os meses de fevereiro e maio, e tem seu curso interrompido no período seco que chega a durar até nove meses.

O padrão de drenagem superficial é dendrítico e, de acordo com a geologia local, a bacia está inserida no domínio hidrogeológico intersticial, composto de rochas sedimentares, e no domínio hidrogeológico fissural, composto de rochas do embasamento cristalino.

O rio Pajeú nasce na serra do Balanço, município de Brejinho, a uma altitude aproximada de 800m no limite entre os estados de Pernambuco e Paraíba. Percorre uma distância de 347km desde sua nascente até a desembocadura no lago de Itaparica. Alguns dos afluentes do rio Pajeú pela margem direita são, riacho Cachoeirinha, Tigre, Conceição, Pajeú-Mirim, São João, Boa Vista, Abóbora, Cachoeira, Lagoinha, São Cristóvão, Pedra Branca, Queimada Redonda e Capim Grosso. Pela margem esquerda destacam-se o riacho do Cedro, Quixaba, Taperim, São Domingos, Poço Negro e riacho do Navio, que é o afluente mais extenso, com um percurso de 135,24km da nasce na serra das Piabas, entre os municípios de Betânia e Custódia, até a junção com o rio Pajeú (PERNAMBUCO, 1998), que ocorre há uma distância de cerca de 3km ao sul do núcleo urbano de Floresta. A Figura 13 apresenta, de forma simplificada, a rede de drenagem da bacia do Pajeú.

Figura 13 – Rede hídrica principal na bacia do Pajeú



Fonte: Adaptado de Torres e Pfaltzgraff (2014) e Pernambuco (2006).

A área de preservação permanente do rio Pajeú se encontra desprovida de vegetação ciliar em diversos trechos, principalmente em área urbana ou onde se pratica agricultura irrigada, o que, certamente, tem contribuído para acelerar os processos erosivos e o assoreamento. Outro provável impacto ambiental que afeta o rio Pajeú é a contaminação por efluentes das atividades agropecuárias e por resíduos urbanos, tendo em vista que o Pajeú corta as cidades (sedes municipais) de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira, Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi, Serra Talhada e Floresta, e a maioria destas não possui um tratamento adequado dos resíduos sólidos, sendo comum, ainda, a existência de lixões a céu aberto. Na bacia do Pajeú existem 30 reservatórios com capacidade acima de 1 milhão de m³, que juntos somam uma capacidade de armazenamento de 595.249.656m³ de água. O maior é o Açude Serrinha II, com capacidade total de 311 milhões de m³, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais reservatórios da bacia do Pajeú

Reservatório	Município	Capacidade (m³)
Angico	Itacuruba	3.240.000
Arrodeio	São José do Belmonte	14.522.100
Água Fria	Floresta / Serra Talhada	4.000.000
Barra do Juá	Floresta	71.474.000
Belmonte	São José do Belmonte	1.800.000
Boa Vista	Itapetim	16.448.450
Brotas	Afogados da Ingazeira	19.639.577
Cachoeira II	Serra Talhada	21.031.145
Cascudo	São José do Egito	2.000.000
Chinelo	Carnaíba	3.483.700
Jazigo	Serra Talhada	15.543.300
José Antônio	Santa Terezinha	2.024.540
Juá	Mirandiba	3.000.000
Jureminha	São José do Egito	2.080.355
Laje do Gato	Tabira / Afogados da Ingazeira	1.102.940
Livino	Mirandiba	1.385.562
Mãe d'água	Itapetim	1.500.000
Manopla	Itapetim	1.444.300
Monte Alegre	Carnaubeira da Penha / Floresta	8.500.000
Poço Grande	Flores	1.500.000
Quebra Unha	Floresta	3.190.000
Retiro	São José do Egito	1.117.693
Riacho Seco	Floresta	1.600.000
Rosário	Igaraci / Ingazeira	34.990.000
Saco I	Serra Talhada	36.000.000
São José	Belém do São Francisco	1.600.000
São José II	São José do Egito	7.152.875
Serrinha / Serraria	São José do Egito	1.256.504
Serrinha II	Serra Talhada	311.000.000
Serrote	São José do Belmonte	1.622.615

Fonte: APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima (2015).

4 METODOLOGIA

O cálculo dos indicadores abióticos de desertificação (clima e solo) seguiu as diretrizes metodológicas apresentadas por Abraham (2006), que compilou e descreveu os indicadores obtidos em oficinas realizadas nos seis países participantes do “Programa de Luta Contra a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul” (Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Equador e Peru).

Neste estudo, foram adotados os indicadores selecionados a nível nacional na categoria “fatores abióticos”, especificamente os indicadores climáticos (índice de aridez e índice de precipitação padronizada) e indicadores edáficos (percentual de solo exposto e grau de erosão hídrica). Na análise dos aspectos climáticos optou-se por adicionar o estudo da identificação de tendências na ocorrência de precipitação, tendo em vista a importância que esta variável possui nos estudos climáticos.

4.1 Indicadores climáticos

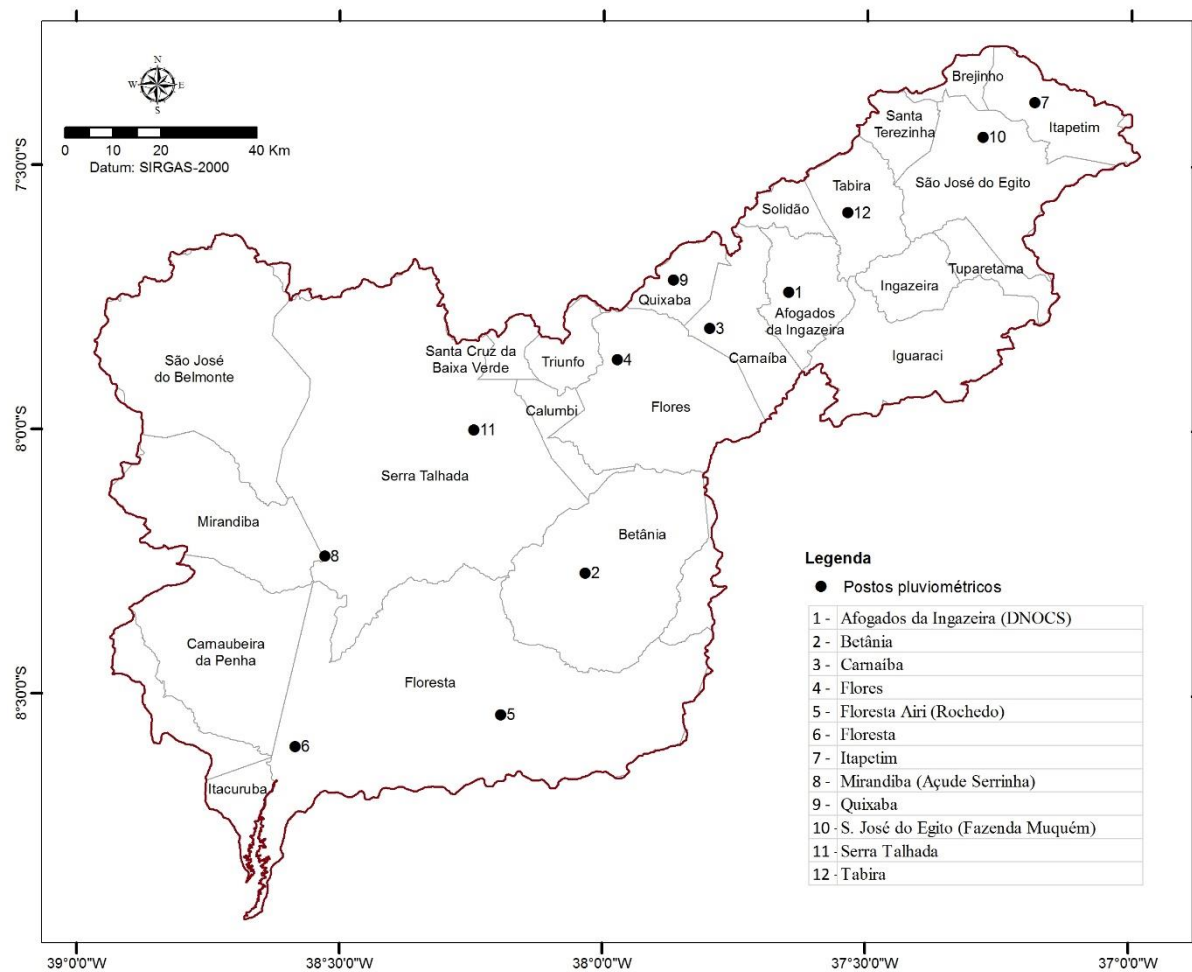
4.1.1 Identificação de Tendência

Para identificação de tendência climática na precipitação, no índice de aridez e no índice de precipitação padronizada foram utilizados os valores mensais das séries históricas com 50 anos de dados, de 1965 a 2014, de 12 postos pluviométricos distribuídos na bacia do Pajeú, conforme relação apresentada na Tabela 2 e na Figura 14. Estes dados são oriundos dos acervos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e Agência Nacional de Águas (ANA).

Tabela 2 – Postos pluviométricos utilizados na pesquisa, no período de 1965 a 2014

Município	Posto	Código	Agência	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Afogados da Ingazeira	Dnocs	737023	ANA	-7°44'20"	-37°38'54"	525
Betânia	Betânia	93	APAC	-8°16'15"	-38°01'59"	443
Carnaíba	Carnaíba	184	APAC	-7°48'28"	-37°47'53"	496
Flores	Flores	737027	ANA	-7°52'04"	-37°58'21"	460
Floresta	Airi – Rochedo	838000	ANA	-8°32'21"	-38°11'34"	361
Floresta	Floresta	838020	ANA	-8°36'00"	-38°35'00"	317
Itapetim	Itapetim	155	APAC	-7°22'45"	-37°10'59"	645
Mirandiba	Açude Serrinha	838002	ANA	-8°14'23"	-38°31'40"	375
Quixaba	Quixaba	238	APAC	-7°43'00"	-37°52'00"	718
São José do Egito	Faz. Muquém	92	APAC	-7°26'40"	-37°16'50"	625
Serra Talhada	Serra Talhada	838031	ANA	-8°00'02"	-38°14'41"	435
Tabira	Tabira	74	APAC	-7°35'18"	-37°32'13"	579

Figura 14 – Localização dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa



Foi realizado o preenchimento de falhas nas séries históricas de algumas estações pluviométricas. Para o preenchimento de dados em falta nas séries foi empregado o Método da Ponderação Regional de Bertoni e Tucci (2001), expresso na Equação 01:

$$Y = \frac{1}{3} \left(\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right) y_m \quad (\text{Equação 01})$$

onde, Y é a precipitação a ser estimada; x1, x2 e x3 são os valores de precipitação para o mês ou ano que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas; xm1, xm2 e xm3 são precipitações médias mensais ou anuais nas três estações vizinhas; e ym é a precipitação média do local a ser estimado.

A identificação de tendência climática na precipitação foi realizada aplicando-se o teste não-paramétrico de Mann-Kendall, recomendado pela Organização Meteorológica Mundial

como um dos principais métodos de estudo de tendências de mudanças climáticas (SENA; LUCENA, 2013; LOPES; SILVA, 2013; YUE *et al.*, 2002;).

Segundo Goossens e Berger (1986) o teste de Mann Kendall é o método mais apropriado para realizar análise de mudanças climáticas em séries climatológicas, possibilitando ainda, a detecção do ponto inicial da tendência. Este teste foi bastante aplicado por McLeod *et al.* (1990) e Hippel e McLeod (1994) em análises de vários tipos de dados ambientais. Modares e Silva (2007) afirmaram que o teste de Mann-Kendall avalia com bastante eficiência a tendência em séries temporais de dados ambientais.

No Brasil, esse teste vem sendo empregado para análise de tendências em diversas variáveis ambientais, como séries temporais de precipitação, temperatura, umidade, radiação solar e vazão de rios (ALMEIDA *et al.*, 2014; GARCIA; PENEREIRO, 2013; SILVA *et al.*, 2013; FERRARI; VECCHIA; COLABONE, 2012; BLAIN, 2010; SILVA *et al.*, 2010).

Inicialmente proposto por Mann (1945) e posteriormente alterado por Kendall (1975), que criou a correspondente estatística Mann-Kendall (MK), o teste MK consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial; é contado o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado. A estatística do teste é obtida pela soma de todas as contagens, como segue:

$$\tau = \frac{S}{\binom{n}{2}} \quad (\text{Equação 02})$$

Em que n é o número da amostra e S é a pontuação de Kendall (1975), dada por

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sinal}(x_i - x_j) \quad (\text{Equação 03})$$

em que x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o número de elementos da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$.

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$ e que para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

$$E(S) = 0 \quad (\text{Equação 04})$$

$$Var(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)] \quad (\text{Equação 05})$$

Assim, o teste estatístico Z_{MK} é dado por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S > 0 \\ 0, & se S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S < 0 \end{cases} \quad (\text{Equação 06})$$

A presença de tendência estatisticamente significativa na série temporal é avaliada através do valor de Z_{MK} ; esta estatística é usada para testar a hipótese nula de que nenhuma tendência existe. Os valores positivos (negativos) de Z_{MK} indicam tendência crescente (decrecente).

Neste trabalho foi seguida a recomendação de Marengo *et al.* (2007), que utilizaram o nível de significância $\alpha = 0,05$ (significância estatística de 95%) em estudos de tendência climática. Assim, a hipótese H_0 (tendência nula) é aceita quando o p-valor calculado no teste for maior que 0,05. Por outro lado, a hipótese nula é rejeitada sempre que o p-valor calculado pelo teste for menor que 0,05 – nestes casos a hipótese da tendência é considerada verdadeira.

Para execução do teste de Mann-Kendall foi utilizado o aplicativo *ActionStat*, um plug-in do Microsoft Excel disponibilizado gratuitamente para download no endereço <http://www.portaction.com.br/content/download-action>.

4.1.2 Índice de Aridez

Neste trabalho foi utilizado o Índice de Aridez adotado no contexto da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), que é representado pela razão entre a precipitação (P) e a evapotranspiração (ETP), o qual é tomado como parâmetro para delimitação das regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas do globo (terras secas ou áreas suscetíveis à desertificação – ASDs). Este índice não é o mesmo índice de aridez de Thornthwaite (1941; 1933; 1931), por isso, neste estudo se preferiu chamar razão P/ETP, fazendo-se necessário tecer alguns comentários para esclarecimento da origem e aplicação deste indicador.

Entre 1950 e 1964 a Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) implementou o *Arid Zone Research Programme* (Programa de Pesquisa das Zonas Áridas), a fim de incentivar e promover o estudo dos problemas destas regiões. Nesse contexto, Meigs (1952) delimitou as zonas áridas do globo em um trabalho intitulado *World Distribution of Arid and Semi-Arid Homoclimates*.

Baseando-se no sistema desenvolvido por Thornthwaite (1948), Meigs (1952) propôs uma primeira divisão dos climas secos do mundo em árido e semiárido, correspondendo ao deserto e estepe. Estes dois grandes grupos climáticos foi subdividido por Meigs (1952) a partir de conceitos e critérios como aridez extrema, distribuição sazonal da precipitação e divisão das temperaturas, que eram discutidos em vários outros estudos e mapas mundiais ou nacionais de vegetação e clima.

O mapa elaborado por Meigs (1952) foi amplamente aceito e utilizado ao longo das décadas de 1950 e 1960, porém, considerando os avanços científicos dos estudos do clima e da biologia e o aumento da rede de observações meteorológicas, a UNESCO em parceria com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a Organização Meteorológica Mundial (WMO) e o Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP), elaborou o *Map of the world distribution of arid regions*, um novo mapa das terras secas do mundo para ser utilizado na Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação realizada em Nairóbi, no Quênia, no ano de 1977. Segundo o documento que apresenta a metodologia para elaboração do mapa de 1977 (UNESCO, 1979), o critério adotado para delimitar as zonas áridas e semiáridas foi a razão P/ETP (razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração anual), que havia sido utilizada oficialmente pela primeira vez pela FAO em seu estudo sobre o risco de desertificação (RIQUIER; ROSSETTI, 1976, apud UNESCO, 1979) – surgindo aí o conceito da razão P/ETP utilizado até os dias atuais no contexto da UNCCD. Neste mapa adotado na Conferência de Desertificação de 1977, foram delimitadas quatro principais zonas a partir dos valores da razão P/ETP: zona hiperárida ($P/ETP < 0,03$); zona árida ($0,03 < P/ETP < 0,20$); zona semiárida ($0,20 < P/ETP < 0,50$) e zona subúmida ($0,50 < P/ETP < 0,75$).

Na década de 1990, porém, foi lançado o *World Atlas of Desertification* (MIDDLETON; THOMAS, 1992). A definição das terras secas neste Atlas adotou o mesmo conceito da razão P/ETP, porém alterou os intervalos de classificação para: zona hiperárida ($P/ETP < 0,05$); zona árida ($0,05 < P/ETP < 0,20$); zona semiárida ($0,20 < P/ETP < 0,50$) e zona subúmida seca ($0,50 < P/ETP < 0,65$). Segundo Matallo Júnior (2003) esta classificação das terras secas passou a ser adotada em larga escala, servindo de parâmetro, inclusive, para a definição das Áreas Suscetíveis à Desertificação na Convenção das Nações Unidas sobre o tema. Esta classificação

também é adotada no Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN (BRASIL, 2005) e no Programa de Ação Estadual de Pernambuco para o Combate à Desertificação e Mitigação aos Efeitos da Seca – PAE (PERNAMBUCO, 2009).

Para o cálculo do índice de aridez foram utilizadas as séries históricas de precipitação com 50 anos de dados, de 1965 a 2014, de 12 postos pluviométricos distribuídos na bacia do Pajeú, conforme relação apresentada na Tabela 5 e na Figura 31. Já os dados da Evapotranspiração (ETP) foram obtidos por estimativa através do método proposto por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), que elaboraram uma planilha no ambiente Microsoft Excel para calcular o balanço hídrico de Thorntwaite e Mather (1955).

Além dos dados de precipitação, para calcular o balanço hídrico e obter a estimativa de evapotranspiração, foram utilizados como dados de entrada valores de temperatura média mensal estimados para cada ano através do programa *Estima_T-2.0*, desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006) e disponibilizados gratuitamente para download na página da internet desta instituição, podendo ser acessado em: <http://www.dca.ufcg.edu.br/download/estimat.htm> . Foi necessário estimar a temperatura em função de não haver registros de temperaturas médias mensais do ar nestas localidades para o período estudado.

Assim, para aplicação do teste de tendência foi necessário obter o índice de aridez para cada ano da série de 1965 a 2014, das 12 localidades estudadas. Também se obteve o índice de aridez médio, calculado a partir das médias de pluviometria e de evapotranspiração de cada localidade.

4.1.3 Índice de Precipitação Padronizada

O Índice de Precipitação Padronizada, do inglês *Standardized Precipitation Index* (SPI), desenvolvido por McKee, Doesken e Kleist (1993) foi concebido para quantificar o déficit de precipitação para várias escalas temporais, as quais refletem o impacto da seca na disponibilidade dos diferentes recursos hídricos. As condições de umidade do solo respondem a anomalias de precipitação em uma escala relativamente curta. As anomalias de precipitação a longo prazo são refletidas nas águas subterrâneas, no volume das águas fluviais e no armazenamento nos reservatórios. Por isso, originalmente o SPI foi calculado para as escalas

temporais de 3, 6, 12, 24 e 48 meses, mas este índice pode ser calculado para outros intervalos, desde 1 mês até 72 meses (WMO, 2012).

O cálculo do SPI para qualquer localidade se baseia no registro de precipitações a longo prazo para um período desejado, sendo recomendado um período mínimo de 30 anos. Este registro a longo prazo se ajusta a uma distribuição de probabilidades e se transforma em uma distribuição normalizada, de modo que o SPI médio para a localidade e o período desejado seja zero (Edwards; McKee, 1997). Os valores positivos de SPI indicam que a precipitação é maior que a média, e os valores negativos, que é menor, servindo, assim, para identificar períodos úmidos e períodos secos, tanto para climas úmidos quanto para climas secos.

McKee, Doesken e Kleist (1993), utilizaram o sistema de classificação mostrado na Tabela 3 para definir as diferentes intensidades de seca segundo os distintos valores de SPI. Também definiram os critérios para os episódios de seca em todas as escalas temporais. Um episódio de seca é detectado sempre que o SPI seja continuamente negativo e alcance uma intensidade menor ou igual a -1,0. Este episódio de seca finaliza quando o SPI alcança valores positivos. Consequentemente, todos os episódios de seca têm uma duração definida por seu começo e seu final, e uma intensidade para cada mês em que continua a seca.

Tabela 3 – Escala de valores do Índice de Precipitação Padronizada (SPI)

SPI	Caracterização do período
Maior ou igual a 2,0	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,0 a 1,49	Moderadamente úmido
-0,99 a 0,99	Normal ou aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
Menor ou igual a -2,0	Extremamente seco

Fonte: McKee, Doesken e Kleist (1993).

Para o cálculo do SPI foi utilizado o software SPI_SL_6.exe, adquirido gratuitamente na página <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

Este programa requer um arquivo de texto sem formatação (.txt) com o nome do posto pluviométrico e três colunas de informação contendo o ano, o mês (indicado pelo número de 1 a 12) e o valor da precipitação observada em cada mês. Como dado de entrada foram inseridas as séries pluviométricas de 1965 a 2014 (50 anos) dos 12 postos apresentados na Tabela 2 e Figura 14.

Na interface do SPI_SL_6.exe o primeiro passo é a indicar o número de escalas temporais desejadas e o intervalo de meses. Foi selecionada, apenas, uma escala temporal de 12 meses. Feito isso, é só inserir o arquivo .txt de entrada (caminho/localização no computador) e escolher um nome para o arquivo de saída, adicionando a extensão .DAT no nome do arquivo de saída, que automaticamente é salvo na mesma pasta em que se encontra o arquivo de entrada.

O SPI de 12 meses é uma comparação da precipitação de 12 meses consecutivos com a registrada nos mesmos 12 meses consecutivos de todos os anos precedentes. Ou seja, em cada mês de dezembro é gerado o SPI anual – dos últimos 12 meses, podendo-se assim, identificar os anos secos e úmidos dentro da série histórica, e a gravidade da seca ou umidade.

4.2 Indicadores edáficos

4.2.1 Percentual de solo exposto

Para identificação do percentual de solo exposto na Bacia do Pajeú foram adotados, basicamente, dois procedimentos: estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), e posterior classificação supervisionada. Antes de descrever estes procedimentos, porém, faz-se necessário trazer algumas informações sobre a imagem orbital utilizada no estudo.

Utilizou-se uma imagem do satélite ResourceSat-2, do instrumento (câmera) AWiFS, órbita/ponto 334/083, com data e hora de passagem em 08/06/2016 às 16h14, adquirida gratuitamente na página da internet do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

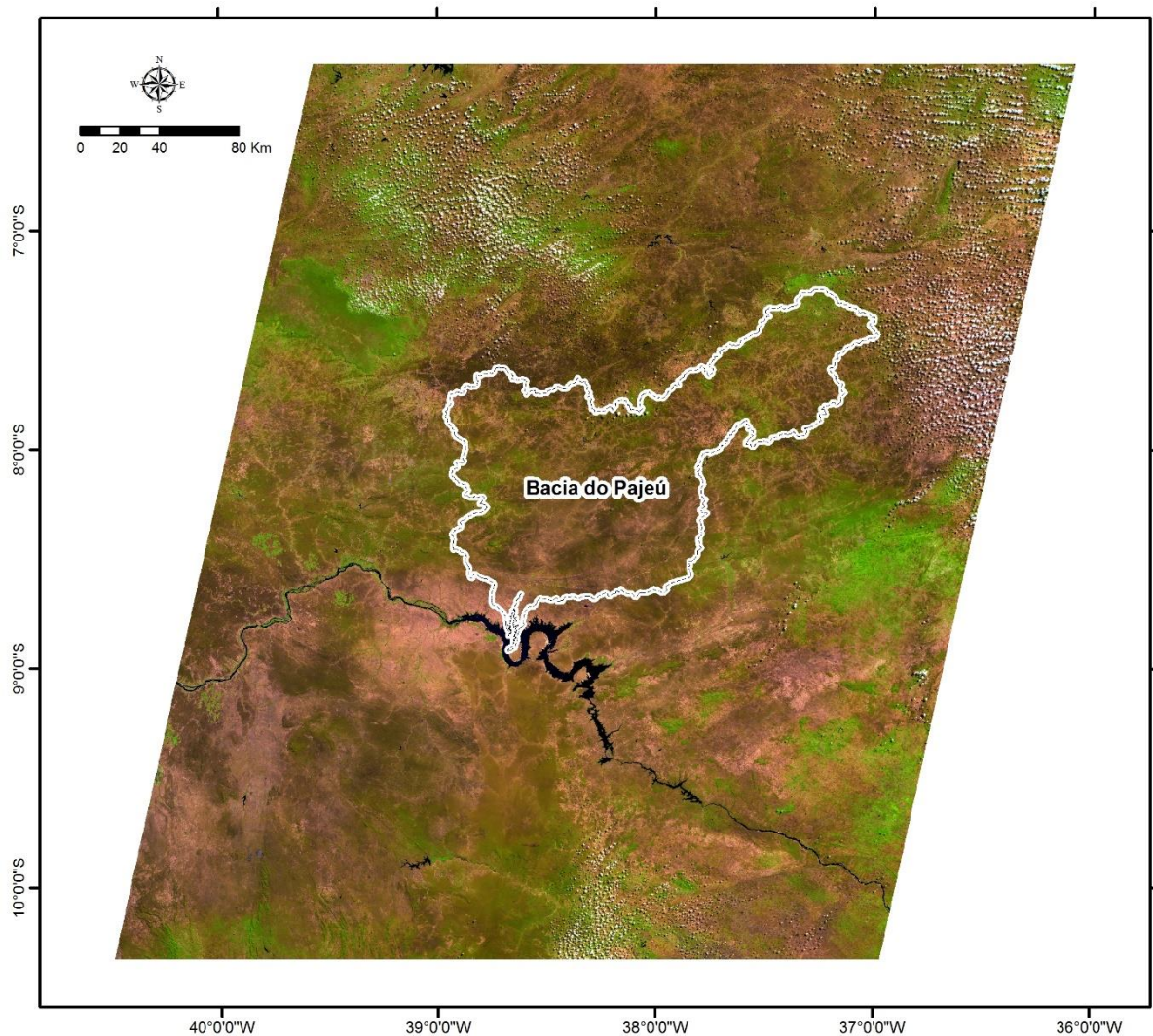
O sensor AWiFS do ResourceSat-2 tem resolução espacial de 56m (nadir) e sua largura de faixa de imageamento é de 740km, o que garantiu a cobertura de toda a extensão da bacia (16.838,70km²) em uma única cena, como pode ser observado na Figura 15.

As imagens do sensor AWiFS possuem apenas quatro bandas espectrais: a banda 2 (green), 0.52-0.59µm; a banda 3 (red), 0.62-0.68µm; a banda 4 (NIR – infravermelho próximo), 0.77-0.86µm e; a banda 5 (SWIR – infravermelho de ondas curtas), 1.55-1.70µm. Apesar do pouco número de bandas espectrais quando comparadas com imagens captadas por outros sensores como o MODIS que possui 36 bandas, a imagem captada pelo sensor AWiFS serviu para gerar o NDVI, que exige, apenas as bandas do espectro do vermelho e do infravermelho próximo.

A data da imagem constituiu outro critério importante. Durante o período chuvoso a caatinga apresenta uma densa cobertura de folhagem e forrageiras, o que dificulta a

identificação de áreas com solo exposto. Já no período seco há uma brusca redução da quantidade de folhas e de forragem, fato que também altera a resposta do NDVI e dificulta a identificação de áreas com solo efetivamente exposto. Por isso, buscou-se uma imagem do mês de junho, imediatamente após o término do período chuvoso (que na bacia vai de fevereiro a maio).

Figura 15 – Imagem utilizada para geração do NDVI na bacia do Pajeú



De posse da imagem, utilizou-se o software ArcGIS 10.3 para geração automática do NDVI. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação que varia entre -1 e +1. Os valores negativos representam corpos hídricos e nuvens, e os valores próximos de 0 (zero) representam o solo exposto. Quanto mais alto o NDVI, mais representativa é a vegetação. Assim, o NDVI é obtido

pela razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED) e a soma das mesmas como expressa a equação:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (\text{Equação 07})$$

Após gerar o NDVI, foi realizada a classificação supervisionada desta imagem. Com o auxílio da imagem bruta e da visualização das imagens disponíveis no software Google Earth verificou-se o intervalo dos valores correspondentes a cinco principais classes: os pixels com valores de NDVI abaixo de 0,1 foram classificados como corpos d'água; entre 0,1 e 0,2 foram agrupados na classe de solo exposto; entre 0,2 e 0,3 estão os pixels de áreas com cobertura de vegetação rasteira, pastagens e cobertura urbana; entre 0,3 e 0,5 foram classificados como caatinga aberta e; acima de 0,5 são os valores dos pixels de áreas de caatinga densa.

O processo de classificação supervisionada também foi realizado no ArcGIS 10.3, e o produto gerado serviu para identificação das áreas com solo exposto na bacia do Pajeú.

4.2.2 Grau de Erosão hídrica

A avaliação de perdas de solo por meio de equações empíricas tem se tornado uma atividade comum e indispensável para o planejamento de práticas conservacionistas em áreas cultivadas. As técnicas de estimativas de perdas de solo vêm sendo aprimoradas proporcionando segurança nas estimativas, além de serem empregadas em escala universal por meio da obtenção de informações específicas das localidades. Dessa forma, essas equações visam o planejamento do uso do solo e determinação de práticas de conservação mais adequadas para uma dada área (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

A Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) / *Universal Soil Loss Equation* (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), é algoritmo mais comum no estudo da erosão e na estimativa das perdas de solo. Esse modelo foi revisado por Renard *et al.* (1997) passando a ser designada como *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE). A RUSLE estima a erosão do solo e serve de guia sistemático no planejamento da conservação do solo através dos principais fatores que influenciam a erosão.

A RUSLE é expressa por:

$$A = R.K.LS.C.P \quad (\text{Equação 08})$$

Onde,

- A é a perda média anual de solo em tonelada por hectare por ano (t/ha/ano);
- R é o fator de erosividade da chuva, expresso em Megajoule por milímetro por hectare por hora por ano (MJ.mm/ha.h.ano);
- K é o fator erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm;
- LS é o fator topográfico, adimensional;
- C é o fator de uso e cobertura do solo, adimensional;
- P é o fator de práticas conservacionistas, adimensional.

Diversos trabalhos no Brasil e no mundo (SILVA, 2004; CABRAL *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2007; ADEDIJI; TUKUR; ADEPOJU, 2010; PULIDO GÓMEZ, 2012; FARHAN; ZREGAT; FARHAN, 2013; MARQUES, 2013) apontam que a RUSLE é um instrumento precioso para a conservação dos solos devido a sua precisão nas estimativas de perdas médias anuais de solo sob determinadas condições ecológicas (R, K, L e S) e fatores antrópicos (C e P).

O cálculo da perda de solo por erosão hídrica (RUSLE) da bacia do Pajeú foi realizado através do modelo InVEST SDR (versão 3.2.0), baixado, gratuitamente, em novembro de 2015, na página do “Projeto Capital Natural” (<http://www.naturalcapitalproject.org>).

O SDR (*Sediment Delivery Ratio model*), Modelo de Exportação de Sedimentos, é um dos modelos da plataforma InVEST (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*) – que traduzido para o português seria Avaliação Integrada de Serviços Ambientais e Compensações – desenvolvida pelo Natural Capital Project, da Universidade de Stanford, na Califórnia (USA), em parceria com o *Institute on the Environment*, da Universidade de Minnesota (USA), *The Nature Conservancy* (TNC) e *World Wildlife Fund* (WWF).

De acordo com Sharp *et. al.* (2015), o InVEST tem como objetivo apoiar a tomada de decisão na gestão dos recursos naturais, fornecendo informações sobre alterações nos ecossistemas, na tentativa de evitar prejuízos ao bem-estar da população. Possui um conjunto de ferramentas de modelagem matemática voltadas ao mapeamento, quantificação e valoração econômica de serviços ambientais, constituído por 20 módulos, dentre eles, o de exportação de sedimentos (SDR).

O uso do modelo InVEST SDR dispensa softwares de geoprocessamento, sendo aberto diretamente através do gerenciador de aplicativos do computador. Seus dados de saída, porém, podem ser acessados em ambiente SIG, tendo sido utilizado o ArcGIS 10.3 neste trabalho.

No modelo InVEST SDR a perda anual de solo é calculada para cada pixel do terreno, sendo determinada pela equação universal de perda de solo revisada. Os dados de entrada requeridos pelo modelo são:

- Limite da bacia hidrográfica (arquivo shapefile no formato de polígono);
- Limite das sub-bacias (arquivo shapefile no formato de polígono);
- Mapa de erosividade (arquivo raster);
- Mapa de erodibilidade (arquivo raster);
- Modelo Digital de Elevação (MDE) (arquivo raster);
- Mapa de uso e cobertura do solo (arquivo raster);
- Tabela “biofísica”, com os valores dos fatores C e P (arquivo .csv);
- Parâmetros adicionais.

O limite da bacia hidrográfica do rio Pajeú foi obtido a partir do mapa das bacias hidrográficas / unidades de planejamento hídrico do Estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2006), cuja base cartográfica foi cedida pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

Para obtenção do índice de erosividade das chuvas (fator R) foram utilizadas as médias históricas de precipitação de 98 estações pluviométricas distribuídas por todo o Estado de Pernambuco, cedidas pela APAC. O cálculo do fator R foi realizado a partir da equação proposta por LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER (1992) expressa por:

$$EI = 68,730 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,841} \quad (\text{Equação 09})$$

Onde, “EI” é a média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h.ano, “p” é a precipitação média mensal em milímetros e “P” é a precipitação média anual em milímetros.

O índice de erosão médio anual, isto é, o fator R para um local, é a soma dos valores mensais do índice de erosão. Assim, utilizou-se a Equação 04 para calcular o índice de erosividade de cada mês, e a soma dos valores obtidos ao longo do ano constituiu o índice médio anual de cada uma das estações pluviométricas.

Depois disso, foi feita a interpolação dos valores do índice de erosividade médio anual para todo o Estado de Pernambuco através do método do inverso do quadrado da distância (IDW) no ArcGIS 10.3. O mapa de erosividade (arquivo *raster*) da bacia do Pajeú foi obtido,

então, mediante a técnica de “extração por máscara” no ArcGIS 10.3, com o recorte da bacia do Pajeú no mapa de erosividade de Pernambuco.

O fator erodibilidade dos solos (K) foi calculado pelo método indireto, através da equação proposta por Bouyoucos (1935), citada por Hudson (1982) e Bertoni e Lombardi Neto (2012) e utilizada por Mannigel (2002) e Castro *et al.* (2011):

$$\text{Fator } K = ((\% \text{ areia} + \% \text{ silte}) / \% \text{ argila}) / 100 \quad (\text{Equação 10})$$

Aplicou-se a referida equação para os diferentes horizontes dos solos existentes na área de estudo, sendo o fator K de cada classe de solo a média aritmética dos valores aferidos para seus sub-horizontes.

Os percentuais de areia, silte e argila foram obtidos a partir das descrições dos perfis de solo disponíveis na página da internet do “Sistema de Informações de Solos Brasileiros” (EMBRAPA, 2015). Foram utilizadas como parâmetro as descrições dos perfis de solos do semiárido pernambucano, visto que uma mesma classe de solo pode apresentar textura diferente em condições climáticas diferentes.

O fator topográfico é calculado automaticamente no modelo InVEST, sendo necessário, apenas, adicionar um modelo digital de elevação (MDE) da área de estudo, um arquivo em formato *raster* que contém informações altimétricas em cada célula/pixel.

O MDE da bacia do Pajeú foi criado a partir das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponíveis na página do projeto “Brasil em Relevo” (MIRANDA, 2005).

Para cobrir toda a extensão da bacia do Pajeú foram necessárias as imagens SRTM das folhas SB-24-Z-C, SB-24-Z-D e SC-24-X-A (escala 1250.000). As três folhas foram unidas através do procedimento “*mosaic to new raster*” no ArcGIS 10.3 e, posteriormente, foi feito o recorte da bacia do Pajeú mediante o procedimento “*extract by mask*”.

Na elaboração da tabela biofísica foram utilizados os parâmetros oferecidos pelo próprio modelo para as categorias: uso agropecuário, cobertura urbana e corpos hídricos, vegetação densa e vegetação aberta. Estas categorias de uso foram identificadas a partir do Sistema de Informações Geográficas do Programa de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite (PROBIO) – bioma caatinga – disponibilizados na página da internet do Ministério do Meio Ambiente do Brasil.

Há, ainda, alguns parâmetros adicionais que precisam ser informados para o funcionamento do modelo. Na Tabela 4 serão apresentados estes parâmetros adicionais e os

seus respectivos valores recomendados pelo próprio modelo, os quais foram adotados neste trabalho.

Tabela 4 – Alguns parâmetros do modelo InVEST SDR

Parâmetro	Valor
Threshold Flow Accumulation	1000
Borselli k	2
Borselli IC ₀	0.5
Max SDR Value	0.8

Por fim, há um parâmetro opcional que seria a inserção de um arquivo *raster* com a drenagem, o qual não foi utilizado neste trabalho, permanecendo este campo do modelo sem preenchimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Indicadores climáticos

Os resultados mostraram que há uma tendência negativa / de diminuição da precipitação, do índice de aridez e do índice de precipitação padronizada na bacia do Pajeú ao longo do período de 1965 a 2014. Dentre as localidades estudadas, dez apresentaram tendência negativa, conforme se pode observar na Tabela 5, das quais três localidades apresentaram significância estatística de 95%, indicada pelo p-valor $< 0,05$, podendo ser consideradas hipóteses verdadeiras.

Apenas as localidades de Afogados da Ingazeira e Tabira apresentaram tendências positivas nas três variáveis estudadas, porém o nível de significância estatística ficou abaixo de 95%, podendo-se considerar hipótese nula.

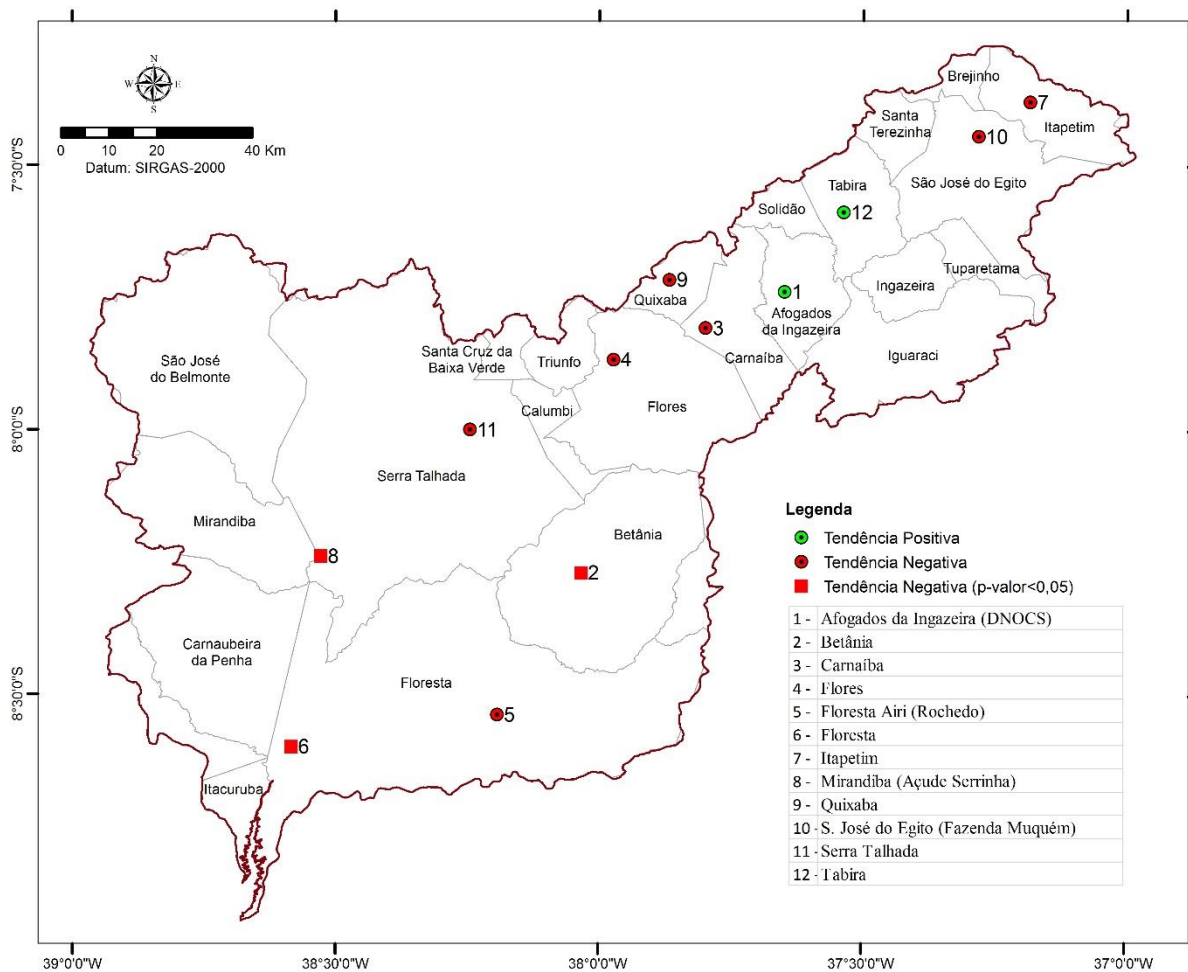
Tabela 5 – Tendências da precipitação, do índice de aridez (IA) e do índice de precipitação padronizada (SPI-12) nas séries históricas de 1965 a 2014 na bacia do Pajeú

Núm.	Posto	Tendência da Precip.	P-Valor	Tendência do IA	P-Valor	Tendência do SPI	P-Valor
1	Afogados da Ingazeira/Dnocs	0,037	0,71	0,012	0,91	0,041	0,68
2	Betânia	-0,206	0,04*	-0,228	0,02*	-0,204	0,04*
3	Carnaíba	-0,104	0,29	-0,120	0,22	-0,104	0,29
4	Flores	-0,164	0,09	-0,187	0,06	-0,164	0,09
5	Floresta/Airi-Rochedo	-0,079	0,42	-0,091	0,36	-0,078	0,43
6	Floresta	-0,276	0,005*	-0,301	0,002*	-0,276	0,005*
7	Itapetim	-0,180	0,07	-0,198	0,04*	-0,180	0,07
8	Mirandiba/Açude Serrinha	-0,249	0,01*	-0,283	0,004*	-0,251	0,01*
9	Quixaba	-0,068	0,49	-0,099	0,32	-0,067	0,50
10	São José do Egito/Faz. Muquén	-0,091	0,36	-0,107	0,28	-0,088	0,37
11	Serra Talhada	-0,094	0,34	-0,122	0,22	-0,093	0,34
12	Tabira	0,066	0,50	0,040	0,69	0,068	0,49

*Significância Estatística de 95%

Os postos pluviométricos cujas séries apresentaram tendência de diminuição da precipitação, do IA e do SPI-12 com alta significância estatística (acima de 95%), foram Betânia, Mirandiba/Açude Serrinha e Floresta, as quais estão situadas na porção sul da bacia hidrográfica do Pajeú, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Espacialização da tendência apresentada pela precipitação, IA e SPI-12

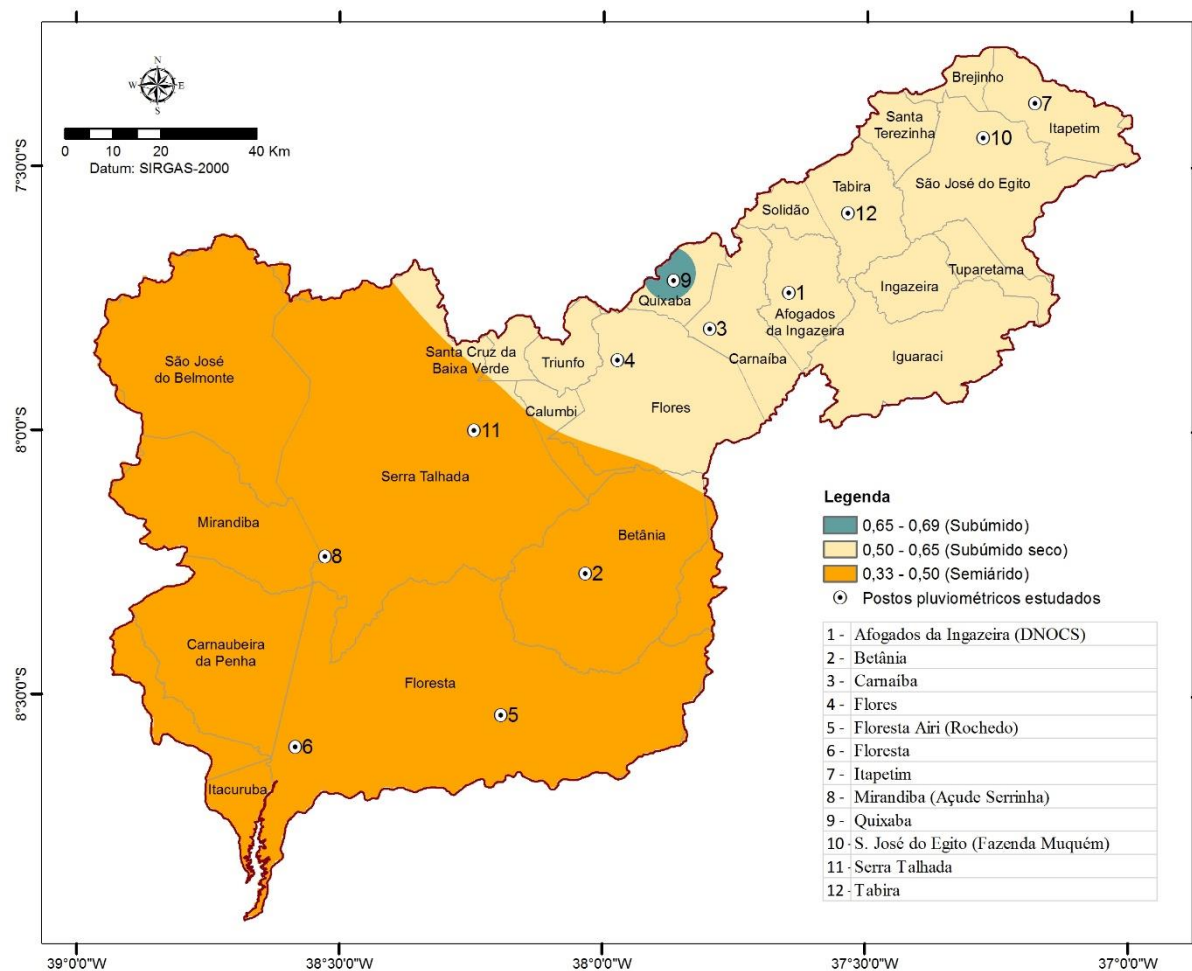


A interpretação das tendências apresentadas na porção sul da bacia é a seguinte: a tendência negativa da precipitação mostra que o volume anual de chuva está diminuindo; com a tendência negativa, a redução dos valores do IA podem indicar uma mudança da categoria do semiárido (IA entre 0,20 e 0,50) para o árido (IA entre 0,05 e 0,20) e; a tendência de diminuição dos valores do SPI ilustra que os episódios de seca estão se tornando mais severos, pois quanto menor o SPI, mais extrema e rigorosa é a seca. Os valores apresentados pelo teste de tendência nas três variáveis, portanto, permitem afirmar que na porção sul da bacia do Pajeú o clima está se tornando mais seco.

Duas questões adquirem relevância diante destes resultados. Em primeiro lugar, a partir dos mapas das isoietas e isotermas apresentados no capítulo 2 (Figura 4 e Figura 5, respectivamente) foi visto que há duas regiões distintas na bacia do Pajeú, a porção norte onde, de maneira geral, chove mais e as temperaturas são mais amenas, e a porção sul, onde o clima é mais quente e seco. A segunda questão está relacionada à espacialização do índice de aridez

médio do Pajeú (Figura 17), através da qual é possível observar que é na porção sul que são encontradas as menores médias do índice de aridez – vale ressaltar que quanto menor o valor do índice de aridez, mais seco o é clima.

Figura 17 – Espacialização do IA médio das 12 localidades estudadas na bacia do Pajeú



A seguir serão apresentados os gráficos com as tendências das três variáveis analisadas para as 12 localidades da bacia hidrográfica do Pajeú, no período de 1965 a 2014. Não se pode esperar um comportamento homogêneo das chuvas ao longo dos 50 anos comparando-se as séries de pluviometria das diferentes localidades analisadas, deve-se levar em conta que as chuvas se distribuem espacialmente de maneira irregular no semiárido brasileiro, sendo comum em um mesmo episódio de chuva serem registrados diferentes totais de precipitação em municípios vizinhos. Todavia, é possível identificar algum padrão de comportamento similar nas séries analisadas, tanto da precipitação, quanto do índice de aridez (IA) e do índice de precipitação padronizada (SPI).

Figura 18 – Tendências da precipitação na bacia hidrográfica do Pajeú, de 1965 a 2014

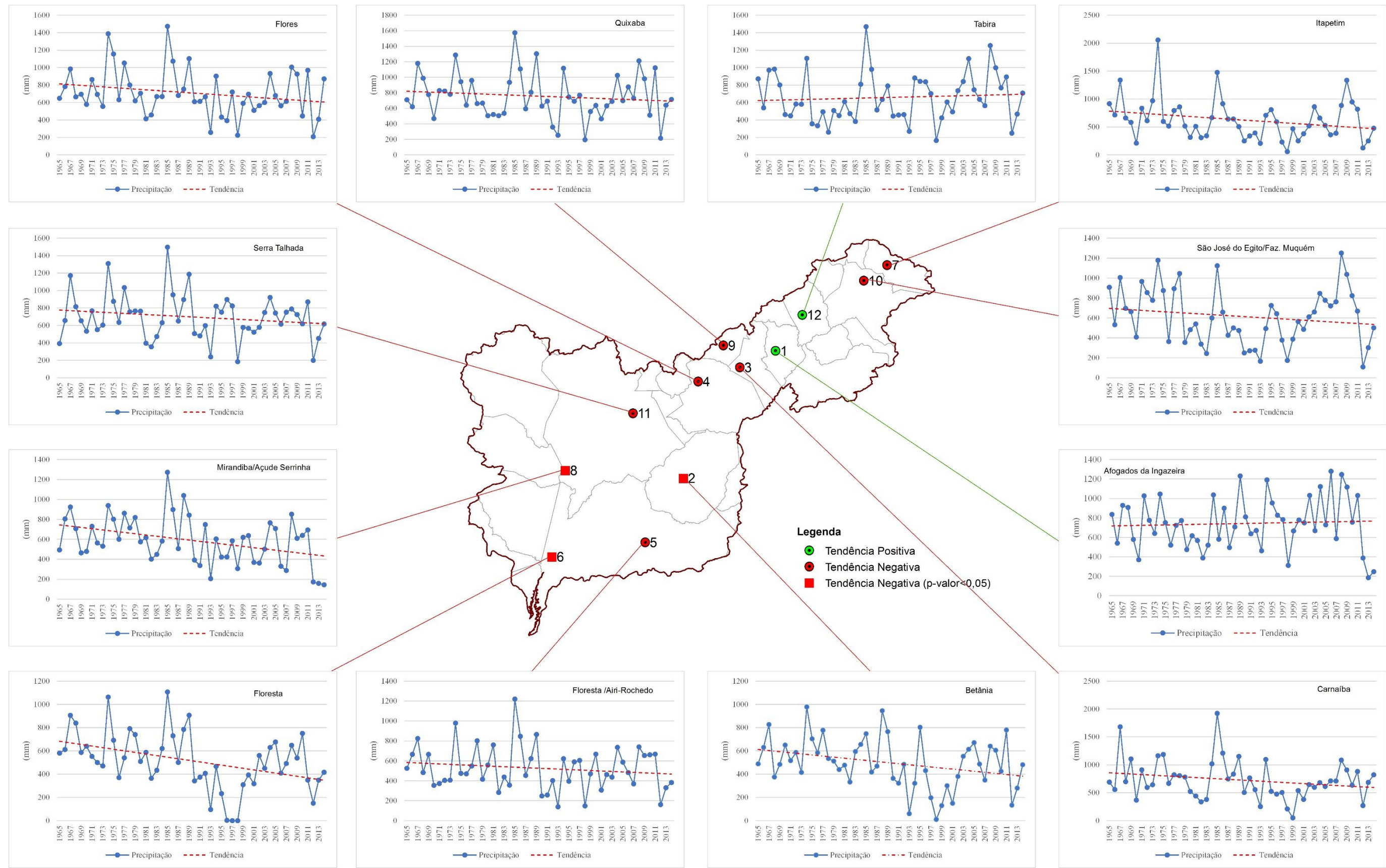


Figura 19 – Tendências do índice de aridez na bacia hidrográfica do Pajeú, de 1965 a 2014

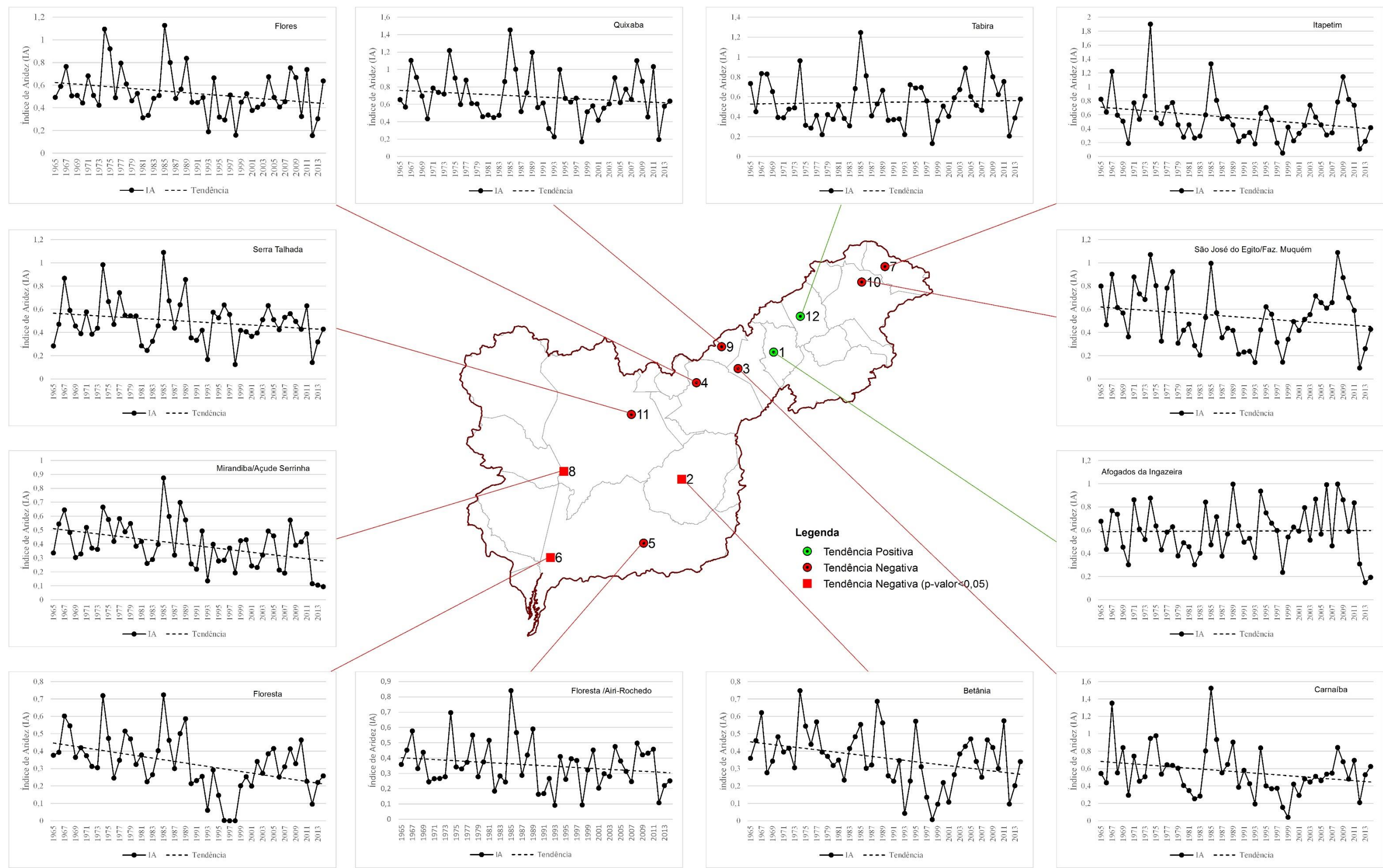
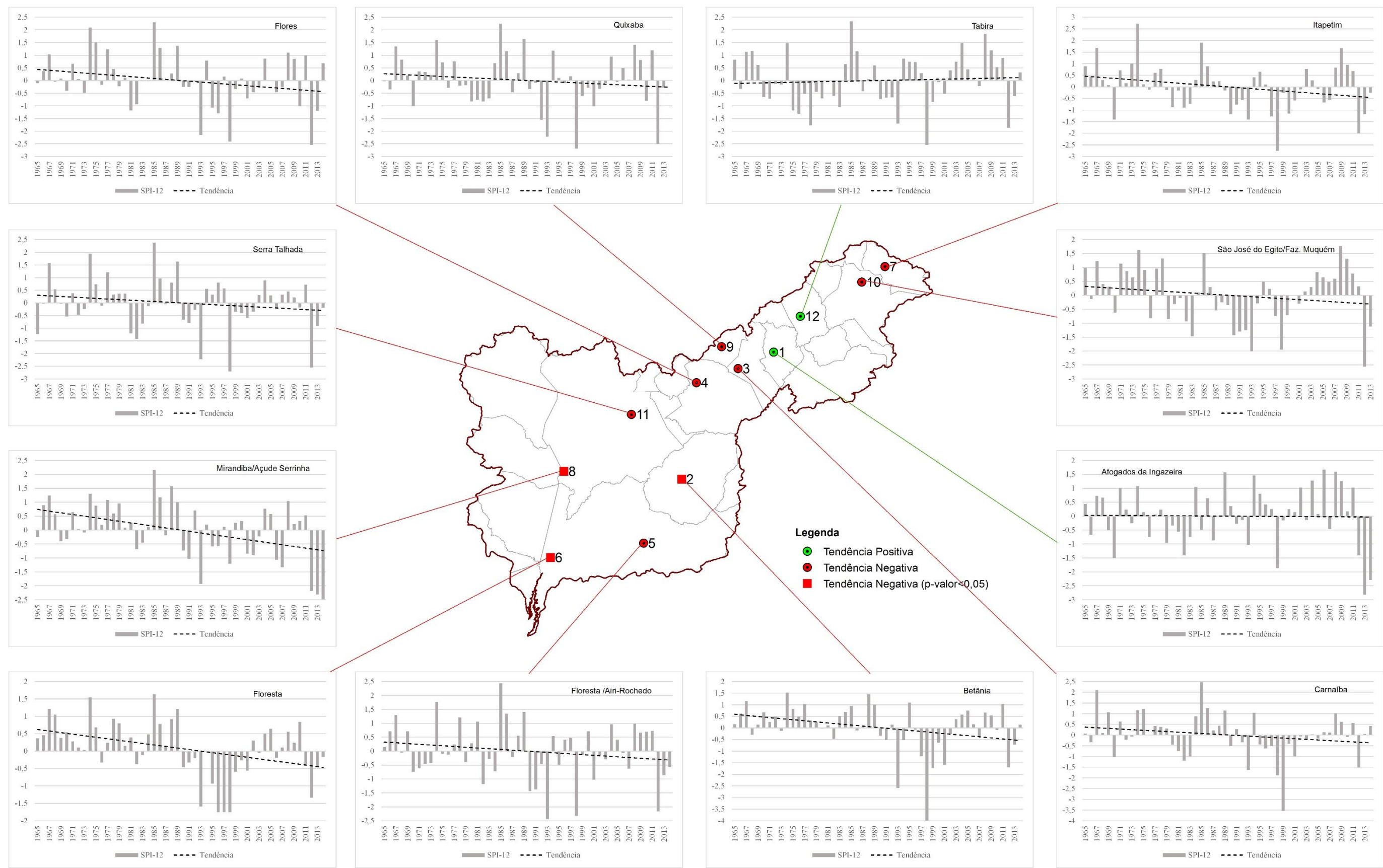


Figura 20 – Tendências do índice de precipitação padronizada na bacia hidrográfica do Pajeú, de 1965 a 2014



Devido à grande variabilidade interanual da ocorrência de chuvas sobre o semiárido brasileiro, há anos extremamente úmidos ($SPI > 2,0$) em que ocorrem chuvas acima da média climatológica e os valores do índice de aridez anual se assemelham às regiões úmidas ($IA > 0,65$), enquanto que ocorrem anos extremamente secos ($SPI < -2,0$), com chuvas abaixo da média histórica e índices de aridez anuais semelhantes às regiões áridas ($IA < 0,20$).

Anos extremamente úmidos e anos extremamente secos podem ser considerados anomalias, porque extrapolam um intervalo de normalidade. Mas, o que representa uma normalidade no semiárido? Uma alternativa de resposta pode ser o intervalo do SPI entre -0,99 e 0,99, considerado normal ou aproximadamente normal por McKee, Doesken e Kleist (1993).

Por outro lado, é preciso reconhecer que a ocorrência de anos extremamente úmidos e, sobretudo, a ocorrência de anos extremamente secos não são situações anormais nos climas semiáridos, pelo contrário, a ocorrência de episódios de seca intercalados com anos regulares e chuvosos é algo inerente ao semiárido.

O que pode ser indicativo de mudança é, portanto, o aumento ou diminuição da frequência com que ocorrem anos extremamente úmidos ou extremamente secos, bem como a tendência de aumento / diminuição nos próprios volumes de chuva ao longo de um determinado período de tempo.

A observação dos gráficos de tendência da precipitação, do índice de aridez e do índice de precipitação padronizada (Figura 18, Figura 19 e Figura 20, respectivamente), revela que nos 25 primeiros anos da série analisada, de 1965 a 1989, há uma maior frequência de anos chuvosos, enquanto que entre 1990 e 2014 torna-se mais comum a ocorrência de anos secos. Outro fato interessante é que só ocorreram anos extremamente úmidos entre 1965 e 1989, ao mesmo tempo em que só ocorreram anos extremamente secos no período de 1990 a 2014.

Dentre os anos chuvosos se destacaram 1974 e 1985, e dentre os anos secos merecem destaque os anos de 1998 e 2012. Estes anos também foram identificados por Ribeiro, Nóbrega e Mota Filho em um trabalho sobre o índice de anomalias de chuva (IAC) na bacia do Pajeú, sendo classificados os dois primeiros como anos extremamente úmidos (IAC acima de 4), enquanto que os dois últimos foram classificados com anos muito secos (IAC entre -4 e -2).

A ocorrência de anos secos e úmidos no semiárido brasileiro recebe influência das anomalias de temperatura da superfície dos oceanos atlântico e pacífico. Nos anos de 1974 e 1985 foram observados episódios de fase negativa do dipolo do atlântico e de La Niña, enquanto que nos anos de 1998 e 2012 os cenários foram de fase positiva do dipolo do atlântico e de El Niño (NÓBREGA; SANTIAGO; SOARES, 2016; RIBEIRO; NÓBREGA; MOTA FIHO, 2015).

Sobre a influência das anomalias térmicas do oceano atlântico tropical na ocorrência de chuvas no semiárido do Brasil, é sabido que nas fases positivas do padrão dipolo do atlântico, em que as temperaturas são mais elevadas no atlântico norte, há uma redução das chuvas no Nordeste do Brasil, enquanto que as fases negativas, cujas temperaturas estão mais frias no atlântico norte e mais aquecidas no atlântico sul, favorecem a ocorrência de precipitação acima da média no Nordeste do Brasil (ANDREOLI e KAYANO, 2007; MOURA e SHUKLA, 1981; HASTENRATH e HELLER, 1977).

Já em relação à influência do oceano pacífico sobre as chuvas do semiárido brasileiro, Marengo, Druyan e Hastenrath (1993) afirmaram que durante anos de El Niño a ZCIT encontra-se anormalmente mais ao norte de sua posição normal, assim os ventos alísios de SE e NE sopram com menos intensidade, reduzindo, assim, a umidade que penetra no Nordeste do Brasil. Já em anos de La Niña, o que se observa, de uma maneira geral, é aumento das precipitações sobre esta região (KAYANO; ANDREOLI, 2009).

Assim, a tendência de diminuição das chuvas sobre a bacia hidrográfica do rio Pajeú pode ser um indicativo de mudanças climáticas globais, pois a maior frequência de ocorrência de anos secos pode estar sendo motivada por uma maior frequência de ocorrência da fase positiva do dipolo do atlântico e do fenômeno El Niño, que representam um aquecimento das águas superficiais no atlântico norte e no pacífico tropical.

Outros estudos de tendência climática realizados a partir de séries pluviométricas de postos localizados na bacia do Pajeú encontraram resultados semelhantes aos aqui apresentados. Lacerda, Melo e Soares (2009) identificaram tendência negativa de precipitação em oito estações pluviométricas da bacia do Pajeú, dentre as quais duas apresentaram significância estatística de 95%. Assis, Sobral e Souza (2012) também identificaram tendência negativa na ocorrência de precipitação da bacia do Pajeú e na bacia do rio Brígida, também situada no semiárido pernambucano.

Não há, porém, unanimidade nos resultados dos testes de tendência climática em outras áreas do Nordeste do Brasil. Em estudo realizado no Estado do Ceará, Moncunill (2006) encontrou o predomínio de tendência negativa na precipitação, no período de 1974 a 2003, em 27 de 32 estações pluviométricas analisadas. Por outro lado, Santos *et al.* (2009), ao analisar as séries de pluviometria de 18 localidades no Ceará, encontrou tendência de aumento na precipitação total em 12 das séries analisadas.

Santos e Brito (2007) também identificaram tendência de aumento na precipitação total em séries de pluviometria dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, e ao analisar a

tendência na ocorrência de precipitação sobre a região do Cariri Paraibano, Sena e Lucena (2013) encontraram tendência positiva com alta significância estatística (95%).

Para o Estado de Sergipe, Félix *et al.* (2010) identificaram tendência positiva na precipitação das microrregiões da Grande Aracaju, Médio Sertão e Central, porém na microrregião do Alto Sertão Sergipano foi identificada tendência negativa.

5.2 Indicadores edáficos

5.2.1 Percentual de solo exposto

Dentre as classes de cobertura do solo identificadas e apresentadas na Figura 21, a classe do solo exposto, com valores de NDVI entre 0,1 e 0,2, é a que possui o segundo menor percentual na bacia do Pajeú, com 1,26%, acima, apenas, do percentual ocupado pelos corpos hídricos (0,07%), como pode ser observado na Tabela 6.

Figura 21 – Classes de cobertura do solo identificadas a partir do NDVI na bacia do Pajeú

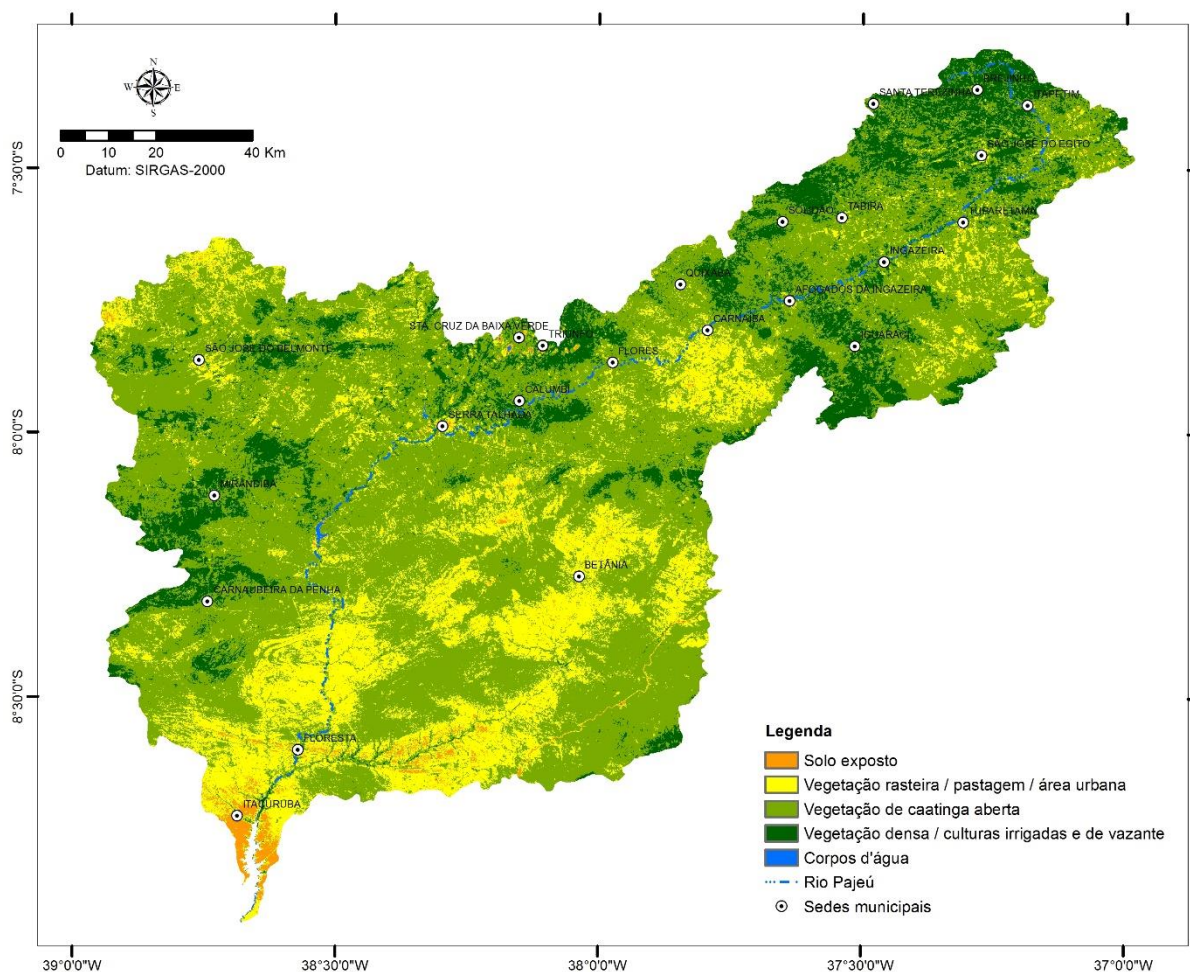


Tabela 6 – Identificação do NDVI e percentual ocupado na bacia do Pajeú por cada classe de cobertura do solo

Classe de cobertura do solo	Valor do NDVI	Percentual na bacia do Pajeú
Corpos d'água	Abaixo de 0,1	0,07%
Solo exposto	$0,1 < \text{NDVI} < 0,2$	1,26%
Vegetação rasteira / pastagem / área urbana	$0,2 < \text{NDVI} < 0,3$	20,61%
Vegetação de caatinga aberta	$0,3 < \text{NDVI} < 0,5$	63,57%
Vegetação densa / culturas irrigadas e de vazante	Acima de 0,5	14,48%

Com valores de NDVI entre 0,2 e 0,3 foram identificadas as feições de vegetação rasteira, pastagem e área urbana, as quais recobrem 20,61% da bacia. Neste grupo de feições que constitui uma mesma classe a partir dos valores de NDVI, a cobertura urbana é a menos expressiva, devido aos modestos tamanhos das sedes municipais e das sedes distritais na bacia do Pajeú. Optou-se por distinguir, na denominação desta classe, a pastagem da feição de vegetação rasteira pois, ainda que a pastagem no semiárido brasileiro geralmente seja composta por pasto natural, há uma alteração antrópica da paisagem através de um processo conhecido por raleamento da caatinga, no qual são retiradas algumas espécies arbustivas e arbóreas para proliferação de forrageiras.

Confrontando-se os resultados dos percentuais de solo exposto e da classe que reúne a vegetação rasteira, pastagem e área urbana, surge uma questão que exige reflexão: o que pode ser considerado solo exposto em ambiente de caatinga? Aqui neste trabalho a resposta é dada de forma muito simplificada, objetiva e prática baseada na metodologia apresentada: são consideradas áreas de solo exposto os pixels da imagem com valores de NDVI entre 0,1 e 0,2. Mas isso não encerra a questão.

A imagem de satélite utilizada tem resolução espacial de 56m, ou seja, cada pixel da imagem recobre um quadrado cujo lado mede 56m, que equivale a 3.136m², cerca de um terço de um hectare. De forma generalizada, pode-se afirmar que o valor do NDVI corresponde à média do pixel. Assim, é possível que dentro da classe do NDVI entre 0,2 e 0,3 – que engloba a vegetação rasteira, pastagem e área urbana – haja áreas de solo exposto, as quais não podem ser contabilizadas através da metodologia adotada. Isto também é válido para as outras classes identificadas, pois até mesmo dentre áreas onde predomina uma vegetação densa podem existir trechos de solo exposto.

Ainda sobre as áreas de solo exposto, através da Figura 21 é possível destacar quatro expressivas áreas: a extremidade sul da bacia, no entorno do lago de Itaparica, Município de Itacuruba; uma faixa latitudinal que cruza a sede urbana de Floresta e se estende para leste no entorno do riacho do Navio; a extremidade noroeste da bacia, à noroeste da sede urbana de São José do Belmonte, próximo à divisa com o Estado do Ceará e; a região entre os distritos de

Logradouro, Tauapiranga e Caiçarinha da Penha, no Município de Serra Talhada, na porção central do mapa, entre a sede urbana de Serra Talhada e a sede urbana de Betânia.

Nas duas primeiras regiões citadas, a existência de áreas com solo exposto aparentemente está relacionada com aspectos naturais.

No trecho sul da bacia praticamente não há moradias, não há estradas, nem delimitações de áreas de cultivo. Esta região possui os menores índices pluviométricos da bacia, e seus solos predominantes são Luvisolos rasos e pedregosos. A combinação dos aspectos edáficos com a escassez hídrica pode ser responsável pela fisionomia vegetal desta região, que se apresenta bastante aberta, com predomínio de arbustos e herbáceas entremeados por áreas de solo exposto.

No município de Floresta o que chama atenção é o fato de as áreas com solo exposto estarem situadas exatamente sobre a unidade geológica do Complexo Floresta, cujo aspecto litológico e estrutural, associado aos aspectos edáficos (predominância dos Luvisolos) e climáticos (está situada na porção com os menores índices pluviométricos da bacia), provavelmente também influenciam a fisionomia da vegetação e propicia o surgimento de áreas com solo exposto.

Nos outros trechos citados da bacia onde se evidenciam áreas com solo exposto, na porção noroeste de São José do Belmonte e entre os distritos de Logradouro, Tauapiranga e Caiçarinha da Penha, pertencentes ao município de Serra Talhada, a ação antrópica justifica a existência do solo exposto, em função da existência marcante das cercas e delimitações das áreas de cultivo (de sequeiro) e áreas de produção animal.

Além dos corpos d'água, das áreas de solo exposto e da classe de NDVI que engloba as áreas de vegetação rasteira, pastagem e área urbana, foram identificadas outras duas classes de cobertura do solo a partir dos valores do NDVI: vegetação de caatinga aberta, predominantemente arbustiva, com NDVI entre 0,3 e 0,5, recobrindo cerca de 63,57% da superfície da bacia, e com NDVI acima de 0,5 se apresentam as áreas com vegetação de caatinga densa, predominantemente arbórea, que recobrem cerca de 14,48% da bacia, sendo encontrada, sobretudo, em regiões serranas e no Alto Pajeú.

O percentual de solo exposto aqui encontrado é semelhante aos identificado por Ribeiro *et al.* (2016; 2015), que utilizando imagens MODIS para os anos de 2003, 2005, 2007, 2012, 2013 e 2014, encontraram para a bacia do Pajeú um percentual médio de 1,97%. Os referidos autores também apontaram a porção sul da bacia como sendo possuidora das mais expressivas áreas de solo exposto, o que levou estes autores a crer que esta região está sob graves processos de degradação, a mesma conclusão a que chegaram Matos, Candeias e Tavares Júnior (2013),

quando constataram que a porção sul da bacia do Pajeú apresenta os mais altos valores de temperatura da superfície e albedo, bem como os mais baixos valores de NDVI da bacia, o que seria, na visão destes autores, provocado pelo desmatamento. Aqui, porém, não há concordância com esta afirmação, pois não há evidências da ação humana, podendo a existência de solo exposto na porção sul da bacia ser provocada por questões naturais nesta região.

Freire *et al.* (2011), utilizando imagens TM nas datas 13 e 20/11/2009, nas órbitas/pontos 215, 216/65, 216, 215/66, encontraram na avaliação do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Pajeú solo exposto com ocorrência na porção sul da bacia com média de 0,17 para NDVI, valor semelhante ao aqui encontrado.

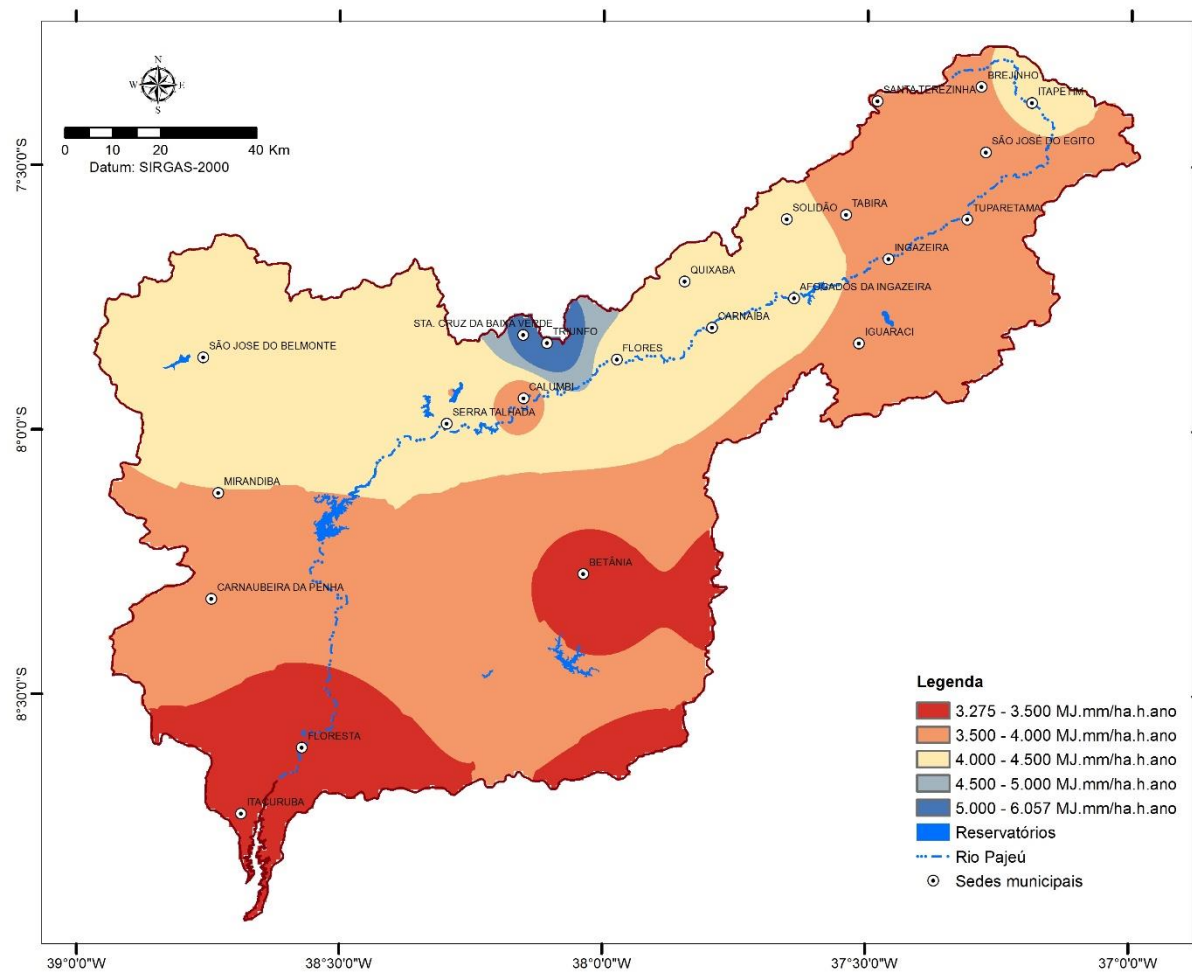
Em trabalhos realizados para outras áreas de caatinga na região Nordeste do Brasil foram encontrados valores de NDVI semelhantes para a classe do solo exposto. Sá *et al.* (2010) identificaram solo exposto na região do Araripe, em Pernambuco, com valores de NDVI entre -0,05 e 0,11. Nascimento, Lima e Lima (2014) classificaram como solo exposto na sub-bacia do Alto Paraíba, no Estado da Paraíba, áreas com NDVI entre 0,0 a 0,2. Albuquerque *et al.* (2014) em estudo realizado no município de Sousa, na Paraíba, constataram que o NDVI apresentou valores variando entre 0,01 a 0,29 em áreas de solo exposto e vegetação esparsa.

No Parque Nacional da Fumaça, entre os municípios de Baraúna e Mossoró, no Rio Grande do Norte, Bezerra *et al.* (2014) identificaram solo exposto em áreas com NDVI variando entre 0 e 0,2. Para o Núcleo de Desertificação de Irauçuba, no Ceará, Santos *et al.* (2014) também identificaram os valores de NDVI entre 0 e 0,2 para a classe do solo exposto.

5.2.2 Grau de Erosão hídrica

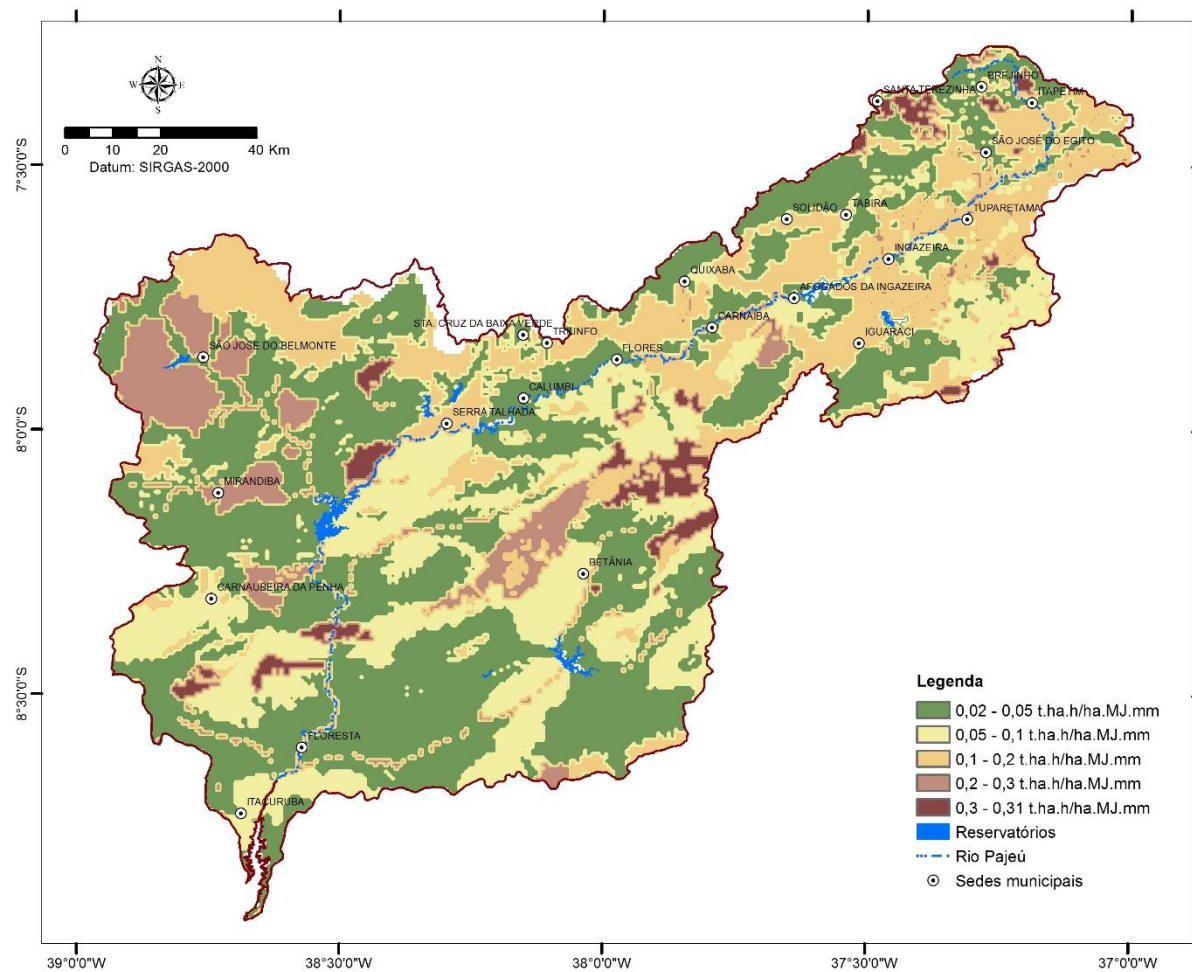
A espacialização da erosividade das chuvas na bacia do Pajeú seguiu, como esperado, um comportamento semelhante à distribuição da pluviometria na bacia, ou seja, na fachada norte, onde chove mais, foram registrados os maiores valores de erosividade, com destaque para a região de Triunfo, onde a erosividade chegou a 6.057 MJ.mm/ha.h.ano. Os valores de erosividade vão decrescendo em direção ao sul da bacia, atingindo o mínimo de 3.275 MJ.mm/ha.h.ano no entorno do núcleo urbano de Betânia, Floresta e Itacuruba, conforme se pode observar na Figura 22.

Figura 22 – Erosividade das chuvas na bacia do Pajeú



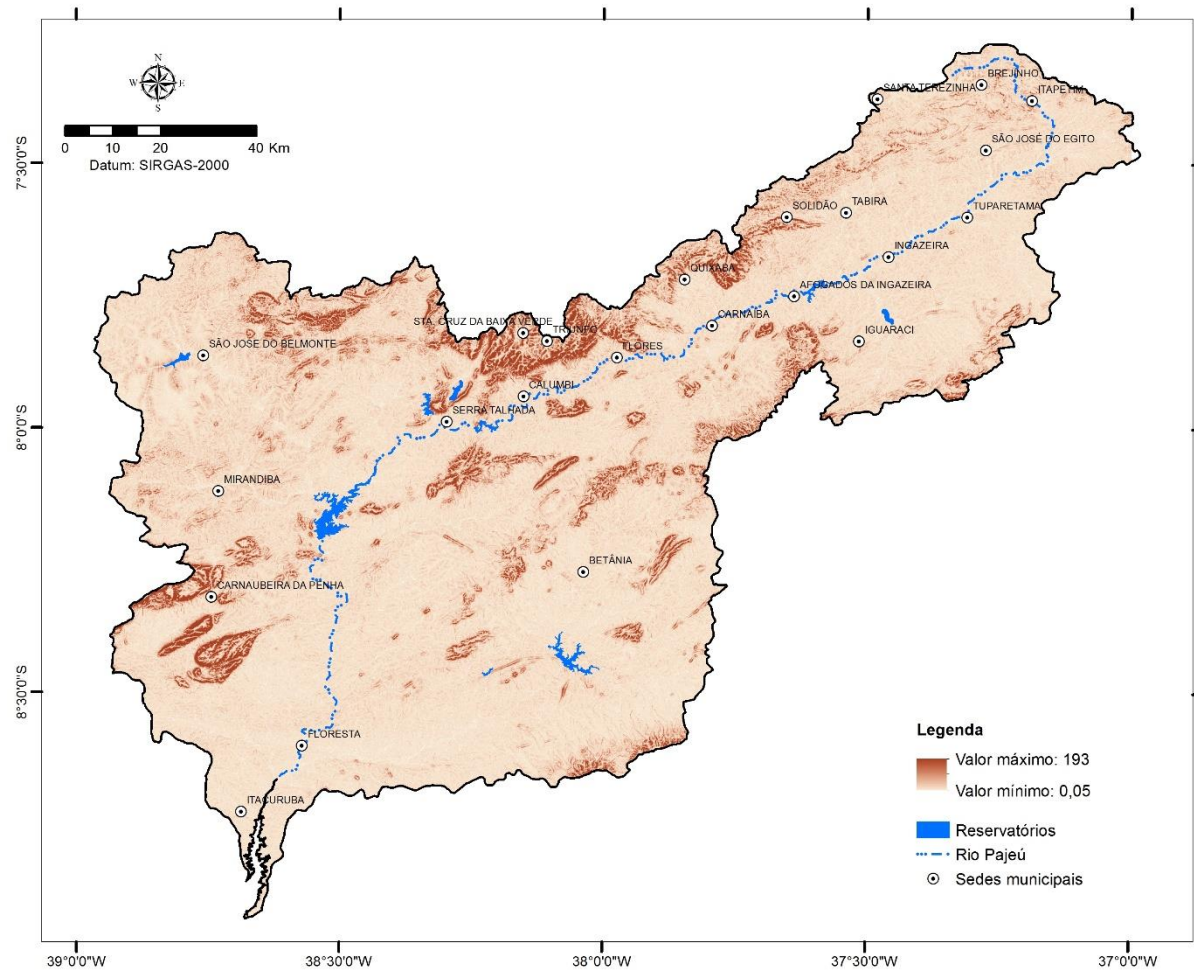
A erodibilidade dos solos se mostrou mais elevada em solos de textura arenosa, geralmente associados a terrenos sedimentares, com destaque para a área do distrito de São Caetano do Navio, a nordeste da sede urbana do município de Betânia; as regiões dos distritos de Sítio dos Nunes e Fátima, ao sul da sede urbana do município de Flores; no município de Santa Terezinha, no alto Pajeú; além de trechos isolados dos municípios de Carnaubeira da Penha, Floresta e Serra Talhada, que apresentaram erodibilidade acima de 0,3 t.ha.h/ha.MJ.mm, conforme se pode observar na Figura 23. Também apresentaram elevada erodibilidade os solos do município de São José do Belmonte, Mirandiba e um extenso trecho que recobre os distritos de Caiçarina da Penha e Tauapiranga, pertencentes ao município de Serra Talhada, cuja erodibilidade é estimada entre 0,2 e 0,3 t.ha.h/ha.MJ.mm.

Figura 23 – Erodibilidade dos solos na bacia do Pajeú



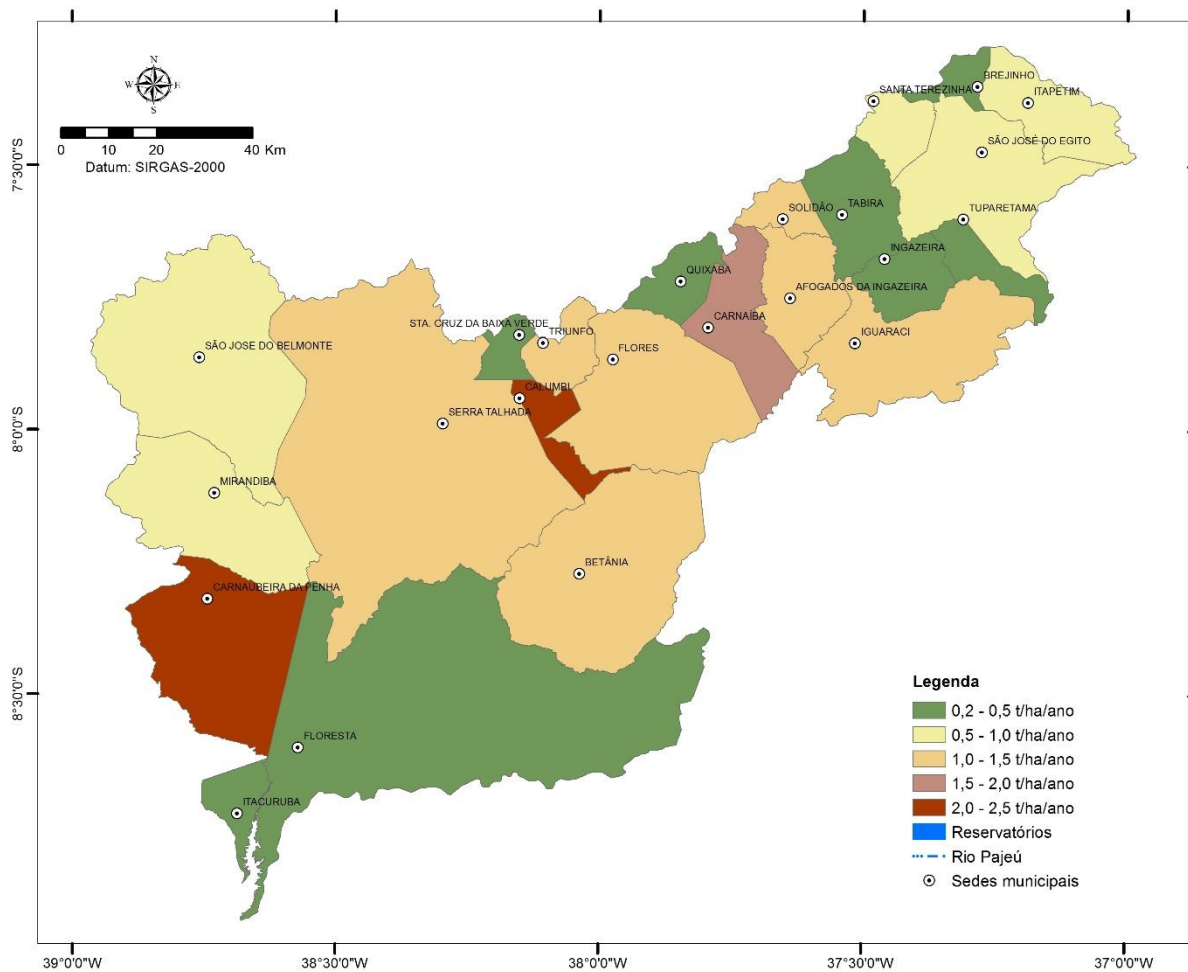
O fator LS, associado à declividade de rampa, se mostrou mais elevado no entorno das regiões serranas, como na fachada norte da bacia, desde o município de Serra Talhada até o município de Solidão, com destaque para a região da Serra da Baixa Verde, nos municípios de Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde, e nas serras dos arredores da área urbana de Carnaubeira da Penha, bem como no entorno de outros Granitoides e Inselbergues isolados, como se pode observar na Figura 24.

Figura 24 – Fator LS calculado para a bacia do Pajeú



Após computar os resultados da erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, declividade de rampa junto com os fatores C e P que estão relacionados com o uso e cobertura do solo, o modelo InVEST SDR gerou a estimativa da perda de solo anual por erosão hídrica para cada município da bacia do Pajeú, cujos valores variaram de 0,2 a 2,5 t/ha/ano, conforme se pode observar na Figura 25.

Figura 25 – Perda de solo anual por erosão hídrica estimada para os municípios da bacia do Pajeú



Os municípios que apresentaram maior média de perda de solo anual por erosão hídrica na bacia do Pajeú foram Carnaubeira da Penha (2,48 t/ha/ano), Calumbi (2,33 t/ha/ano) e Carnaíba (1,60 t/ha/ano), e os menores valores foram observados em Itacuruba (0,21 t/ha/ano), na foz, e em Brejinho (0,37 t/ha/ano) na cabeceira do rio Pajeú.

As serras Grande e da Arapuá no município de Carnaubeira da Penha, as serras da Várzea Grande, Grande e dos Preás em Calumbi, bem como a Serra da Matinha em Carnaíba, representam áreas com elevada declividade e garantem a estes três municípios os maiores índices da estimativa de perda de solo por erosão. Faz-se necessária a preservação da vegetação nestas serras para evitar uma elevada perda de solo nestes municípios.

Os valores apresentados na Figura 25 se configuram como a média dos valores estimados para cada pixel no município. Há, contudo, diferenças internas nos municípios em função da existência de áreas serranas e de outros aspectos ambientais locais. Não obstante, optou-se por calcular a média municipal com o intuito do mapa servir de base para o planejamento de ações de combate à desertificação.

Mesmo as médias municipais de perda de solo anual por hectare tendo apresentado valores relativamente pequenos, quando se contabiliza o total municipal pode-se observar a gravidade do fato. Por exemplo, tomando-se como referência o município de Floresta, que apresentou uma média de 0,46 t/ha/ano, e sabendo-se que o trecho deste município pertencente à bacia tem 294.179 ha, pode-se estimar que anualmente há uma perda superior a 135.000 t de solo por erosão hídrica neste município.

A média total estimada para a bacia do Pajeú foi de 0,97 t/ha/ano, o que implica numa estimativa de perda anual de 1.644.261 toneladas de solo por erosão hídrica, com valores gerados pelo próprio modelo InVEST SDR. Uma parcela significativa deste solo erodido é retirada do horizonte superficial do solo, o que propicia a perda da fertilidade natural e, consequentemente, reduz sua capacidade de produção agrícola.

Alguns resultados alcançados em outros estudos no semiárido brasileiro mostraram similaridade aos aqui apontados. Em estudo realizado na própria bacia do Pajeú Ferreira *et al.* (2014) estimou a erosividade das chuvas entre 2.307 e 6.234 MJ.mm/ha.h.ano.

Aquino *et al.* (2006) estimaram que a erosividade das chuvas nas terras secas do Estado do Piauí varia de 3.316 a 6.877 MJ.mm/ha.h.ano, valores muito próximos dos encontrados no presente trabalho. Para o semiárido Pernambucano, Cantalice *et al.* (2009) identificaram as linhas isoerosivas – como são chamadas as isolinhas de erosividade das chuvas – de 2.000 a 5.000 MJ.mm/ha.h.ano, valores semelhantes aos encontrados por Oliveira, Wendland e Nearing (2012), que identificaram valores de erosividade das chuvas entre 1.672 e 6.000 MJ.mm/ha.h.ano na região semiárida do Nordeste do Brasil.

No município de Sumé, Paraíba, Francisco *et al.* (2014) identificaram valores de erodibilidade dos solos entre 0,01 e 0,04 t.ha.h/ha.MJ.mm. Na região do Agreste Pernambucano, Campos Filho *et al.* (1992) estimaram a erodibilidade em 0,013 t.ha.h/ha.MJ.mm.

Também no município de Sumé, na Paraíba, Albuquerque *et al.* (2004) encontraram a erosividade média das chuvas de 4.928 MJ.mm/ha.h.ano e a erodibilidade dos solos de 0,013 t.ha.h/ha.MJ.mm.

6 CONCLUSÕES

A hipótese inicial do trabalho pregava que o clima na bacia hidrográfica do Pajeú estaria ficando mais seco; esperava-se encontrar áreas com solo exposto em locais onde se praticam atividades agropecuárias e; acreditava-se que a erosão hídrica se faria mais intensa nas regiões de relevo acidentado, sobretudo na porção norte da área de estudo. Esta hipótese foi parcialmente ratificada nos resultados encontrados ao longo da pesquisa.

Foi comprovado estatisticamente (através da significância estatística de 95%) que três localidades situadas na porção sul da bacia apresenta tendência negativa na precipitação, no índice de aridez e no índice de precipitação padronizada, demonstrando que esta região próxima ao rio São Francisco está se tornando mais seca – os volumes anuais de precipitação estão diminuindo, os episódios de seca estão se tornando mais severos e está havendo uma tendência de mudança de categoria do semiárido (IA entre 0,20 e 0,50) para o árido (IA < 0,20). Outras sete localidades apresentaram tendências negativas, e em apenas localidades duas foram identificadas tendências positivas, porém ambas tiveram baixa significância estatística.

As principais manchas de solo exposto foram identificadas em áreas com influência das atividades agrícolas e pecuárias. A porção sul da bacia é mais propensa ao surgimento de áreas com solo exposto devido a seus aspectos naturais, sobretudo pelo fato de possuir um clima muito seco, e a ação impactante do homem, através do desmatamento, contribui para o surgimento e manutenção de áreas com solo exposto.

Foi estimada uma perda média de solo por erosão hídrica entre 0,2 e 2,5 t/ha/ano para os diferentes municípios da bacia, obtendo-se uma média para a bacia do Pajeú de 0,97 t/ha/ano, o que se traduz em uma perda anual de 1.644.261 toneladas de solo. As áreas com maior propensão à perda de solo por erosão estão situadas nos municípios de Carnaubeira da Penha, Calumbi e Carnaíba, e os menores valores foram observados em Itacuruba (0,21 t/ha/ano), na foz do rio Pajeú, e em Brejinho, onde o rio nasce.

REFERÊNCIAS

- ABAHUSSAIN, A. A. *et al.* Desertification in the Arab Region: analysis of current stats and trend. **Journal of Arid Environments**, v. 51, p. 521-545, 2002.
- ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la Desertificación para América del Sur**. Mendoza-Argentina: LaDyOt-IADIZA-CONICET, 2006.
- ABRAHAM, E. M. Indicadores de desertificación para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Perú. In: ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la Desertificación para América del Sur**. Mendoza-Argentina: LaDyOt-IADIZA-CONICET, 2006.
- ACCIOLY, J. L. O; *et al.* Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 10. 2001. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2001.
- ADEDIJI, A.; TUKUR, A. M.; ADEPOJU, K. A. Assessment of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in Katsina Area, Katsina State of Nigeria using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS). **Iranica Journal of Energy & Environment**, v. 1, n.3, p. 255-264, 2010.
- ADEEL, Z. *et al.* **Ecosistemas y bienestar humano: Síntesis sobre Desertificación** - un informe de la EM (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio). Washington: WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2005.
- ALBUQUERQUE, E. M.; *et al.* Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**, Rio Tinto, n. 01, v. 01; Jan-Abr, 2014.
- ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.153-160, 2005.
- ALMEIDA, B. M. [*et al.*]. Análise de tendência temporal da precipitação diária máxima no Estado de São Paulo. **Water Resources and Irrigation Management**, v.3, n.1, p.1-12, 2014.
- ANDRADE, Gilberto Osório de; LINS, Rachel Caldas. Introdução ao Estudo dos Brejos Pernambucanos. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE/DCG-NAPA, v. 16, n. 1, jun/dez, p.5-25, 2000.
- ANDRADE, Manuel Correia de. **A terra e o homem no Nordeste**: contribuição ao Estudo da Questão Agrária no Nordeste. 8. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- ANDRADE-LIMA, Dárdano de. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônômicas**, Recife, v. 4, p. 243-274, 2007.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n.1, p.63-74, 2007.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Bacias hidrográficas** / Rio Pajeú / Bacia do Rio Pajeú. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=20>. Acesso em: Jul. 2015.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p.287-291, 2006.

ASSIS, J. M. O.; SOBRAL, M. C. M.; SOUZA, W. M. Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, p.630-645, 2012.

BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N. Fatores naturais na evolução das paisagens no semiárido brasileiro: uma abordagem geral. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.464-476, 2012.

BARTH, Hans-Jörg. Desertification in the Eastern Province of Saudi Arabia. **Journal of Arid Environments**, v. 43, p. 399-410, 1999.

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

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

BEZERRA, J. M.; *et al.* Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 1, p. 73 – 84, 2014.

BIZZI, L. A. *et al.* **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.

BLAIN, G. C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p1027-1033, 2010.

BOUYOUCOS, G. W. The clay ratio as a criterion as susceptibility of soils to erosion. **J. Amer. Soci. Agron.**, Madison, Wisc., 27, p. 738-741, 1935.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília, DF, 2007.

_____. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. Brasília, 2005.

_____. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação**. 3. ed. Brasília, 2007.

CABRAL, J. B. P. *et al.* Uso de técnicas de geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG. **R. RA´E GA**, Curitiba, n. 10, p. 107-116, 2005.

CAMPOS FILHO, O. R.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P.; LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no Agreste de Pernambuco. **Pesq. agropec. bras.**, v. 27, n. 9, p.1369-1370, 1992.

CANDIDO, H. G.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó paraibano. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 6, n. 2, p. 368-371, 2002.

CANTALICE, J. R. B. *et al.* Linhas Isoerosivas do Estado de Pernambuco - 1ª aproximação. **Revista Caatinga**. v. 22, n. 2, p.75-80, 2009.

CASTRO, W. J. *et al.* Erodibilidade de Solos do Cerrado Goiano. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 4, n. 2, p. 305-320, 2011.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CHAVES, L. H. G. *et al.* Propriedades químicas do solo aluvial da ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p.431-437, 2004.

CONTI, José Bueno. O Conceito de Desertificação. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro, v. 3, n. 2, jul/dez, p. 39-52, 2008.

CORDEIRO, G. G.; MANSEFÚ, A. R. **Degradação de terras por salinidade no Nordeste do Brasil e medição instrumental de salinidade**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2001. (Documentos, 175).

COSTA, T. C. C. *et al.* Mapeamento da fitomassa da caatinga do núcleo de desertificação do Seridó, pelo índice de área de planta (IAP) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), obtido com dados do sensor Landsat 7 TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 10. 2001. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2001.

COSTA, T. C. C. *et al.* Phytomass mapping of the "Seridó caatinga" vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indexes. **Scientia Agrícola**, v.59, p.707-715, 2002.

_____. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 13, (Suplemento), p.961–974, 2009.

CORRÊA, A. C. *et al.* Megageomorfologia e Morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 31, n. 2, p. 35-52, 2010.

DUQUE, José Guimarães. **Solo e água no polígono das secas**. Fortaleza: Minerva, 1953. (DNOCS/MVOP, 154)

EDWARDS, D. C; MCKEE, T. B.. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. **Climatology Report**, 97-2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1997.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema de Informações de Solos Brasileiros**. Disponível em: <http://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/consulta_publica.html> Acesso em: 15 Jul. 2015.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **ZAPE Digital**. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco. Recife, 2001. CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, 35).

_____. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro, 2000.

FARHAN, Y.; ZREGAT, D.; FARHAN, I. Spatial Estimation of Soil Erosion Risk Using RUSLE Approach, RS, and GIS Techniques: A Case Study of Kufranja Watershed, Northern Jordan. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 5, p. 1247-1261, 2013.

FÉLIX, D. O.; DE SOUSA, I. F.; NASCIMENTO, P. J. S. S.; SANTOS, D. N. Avaliação da Tendência de Precipitação Pluviométrica Anual no Estado de Sergipe. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém. **Anais...**, 2010.

FERRARI, A. L.; VECCHIA, F. A. S.; COLABONE, R. O. Tendência e variabilidade anuais da temperatura e da pluviosidade em Pirassununga-SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 8, V. 10, p. 30-46, 2012.

FERREIRA, P. S. *et al.* Análise do cenário de suscetibilidade à desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú – Estado de Pernambuco. **Scientia Plena**, v. 10, n. 10, p. 1-11, 2014.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, p 15-28, 2005.

FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. N.; MORAES NETO, J. M. Mapeamento da Deterioração Ambiental em Área de Vegetação de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 07, n. 02, p.304-318, 2014.

FREIRE, M. S. *et al.* Avaliação do uso e cobertura do solo na bacia do Pajeú – Pernambuco. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Curitiba, PR: INPE, p.1403 – 1410, 2011.

GALVÃO, A. L. C. O.; GALVÃO, W. S.; SHITO, C. H. Análise multitemporal da cobertura vegetal e ocupação das terras na área nuclear de degradação do núcleo de desertificação de Gilbúes – PI. **Brazilian Journal of Ecology**, v.2, n.1, p. 52-60, 2003.

GARCIA, V. F. V.; PENEREIRO, J. C. Implementações de softwares para análises de tendência temporal em dados de temperaturas, precipitações e vazões de rios para algumas localidades paulistas. **Anais do III Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**, Campinas-SP, 2013.

GOMES, H.A. **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2001. Convênio CPRM/Governo do Estado de Pernambuco/AD-DIPER. 198 p. 2 mapas. Escala 1:500.000. Projeto Mapeamento Geológico-Metalogenético Sistemático.

GOOSSENS, C; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v.4, n.B4, p. 385-400, 1986.

HASTENRATH, S. **Climate and circulation of the tropics**. Dordrecht: D. Reidel, 1985.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal Royal Meteorological Society**, v.103, n.435, p.77-92, 1977.

HASUI, Y. *et. al.* **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012.

HIPEL, K. W.; MCLEOD, A. I. **Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems**. Amsterdam: Elsevier, 1994.

HUDSON, N., **Conservacion del suelo**. Barcelona: Reverté, 1982.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultados do Universo – Agregados por Setores Censitários**. Disponível em: [<ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/>](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/). Acesso em: Jul. 2015.

_____. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro, 2007. (Manuais Técnicos em Geociências, 4).

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Produção Agrícola Municipal**, 2014. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 13 Jan. 2016.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Pesquisa da Pecuária Municipal**, 2014. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>>. Acesso em: 13 Jan. 2016.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Produto Interno Bruto do Municípios 1999–2013**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/PIBMun/default.asp>>. Acesso em: 13 Jan. 2016.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (Orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KENDALL, M. G. **Rank correlation measures**. Charles Griffin: London, U.K, p.220, 1975.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper Tropospheric Cyclone Vortices in the Tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, 538-551, 1981.

KUHLMANN, Edgar. O domínio da Caatinga. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, ano 33, n. 241, julho-agosto, p. 65-71, 1974.

LACERDA, F. F.; MELO, A. V. P. V.; SOARES, D. B. Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú – PE: Mudanças climáticas ou variabilidade?, In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2009, Campo Grande-MT. **Anais...**, CD Room, 2009.

LOMBARDI NETO, F.; MODENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, 51 (2), p. 189-196, 1992.

LOPES, J. R. F.; SILVA, D. F. Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no Estado do Ceará. **Revista de Geografia (UFPE)**, V. 30, N. 3, p. 192-208, 2013.

MANN, H. B. Econometrica. **The econometric society**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MANNIGEL, A. R. *et al.* Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MANZANO, M. G.; NÁVAR, J. Process of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thorn scrub in North-eastern Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 44, p. 1-17, 2000.

MANZATTO, C. V. et al. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

MARENGO, J.; NOBRE, C.; RAIGOZA, D.; VALVERDE, M.; PISNITCHENKO, I.A.; OLIVEIRA, J.C.M. **Boletim do Projeto**: uso de cenários de mudanças climáticas regionais em estudos de vulnerabilidade e adaptação no Brasil e na América do Sul (GOF-UK-CPTEC), 2007. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Newsletter_No4_Port.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.

MARENGO, J., DRUYAN, L., HASTENRATH, S. Observational and modelling studies of Amazonia interannual climate variability. **Climatic Change**, v. 23, n.3, p.267-286, 1993.

MARQUES, V. S. **Erosão hídrica em microbacia utilizando geotecnologias**. Tese (doutorado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Seropédica, 2013.

MATALLO JUNIOR, Heitor. **Glossário de Termos e Conceitos usados no Contexto da UNCCD**. Brasília: MMA, 2009.

_____. A Desertificação no Mundo e no Brasil. In: SHENKEL, S. C.; MATALLO JÚNIOR, H. **Desertificação**. 2. ed. Brasília: UNESCO, 2003.

_____. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas.** Brasília: UNESCO, 2001. (Cadernos UNESCO Brasil. Série Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2)

MATOS, R. C. M.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R. Mapeamento da vegetação, temperatura e albedo da Bacia hidrográfica do Pajeú com imagens Modis. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65, v. 1, p. 139 – 160, 2013.

MCKEE, T.B; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scale. **Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology**, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184, 1993.

MCLEOD, A.I.; HIPEL, K.W.; BODO, B.A. Trend analysis methodology for water quality time series. **Environmetrics**, v.2, p. 169-200, 1990.

MEIGS, P. **World distribution of arid and semi-arid homoclimates.** Paris. Unesco, 1952. (Arid Zone Research 1)

MELO, Mario Lacerda de. **Áreas de exceção da Paraíba e dos sertões de Pernambuco.** Recife: Sudene, 1988. (Estudos Regionais, 19).

MIDDLETON, N.; THOMAS, D. **World Atlas of Desertification.** London: Edward Arnold, 1992.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevô.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

MODARES, R.; SILVA, V. P. R. Trends analysis of rainfall record in arid and semiarid regions of Iran. **Journal of Arid Environments**, v.70, n.1, p.344-355, 2007.

MOLION, L.C.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da Dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n.1, 1-10, 2002.

MONCUNILL, D. F. The rainfall trend over Ceará and its implications. In: 8ª Conferência Internacional de Meteorologia e Oceanografia do Hemisfério Sul, Foz do Iguaçu, **Anais...**, p.315-323, 2006.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675. 1981.

NASCIMENTO, S. S.; LIMA, E. R. V.; LIMA, P. P. S. Uso do NDVI na análise temporal da degradação da caatinga na sub-bacia do Alto Paraíba. **OKARA: Geografia em debate**, v.8, n.1, p. 72-93, 2014.

NOBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p.276-292, 2016.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, p.139-147, 2012.

OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal-SP: FUNEP, 1992.

PERNAMBUCO. **Programa de Ação Estadual de Pernambuco para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAE-PE**. Recife: CEPE, 2009.

_____. **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco**. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2006.

_____. **Plano estadual de recursos hídricos**. Recife: Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente, 1998.

_____. **Climatologia das estações experimentais do IPA**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, 1994.

PAMO, E. T. Herders and Wildgamebehaviour as a strategy against desertification in northern Cameroon. **Journal of Arid Environment**, v. 39, p. 179-190, 1998.

PRADO, H. do. **Pedologia fácil: aplicações na agricultura**. 2ª Ed. São Paulo: USP, 2008.

PULIDO GÓMEZ, J. D. **Estimativa de erosão pela Equação Universal da Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo território brasileiro**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura. 89 p. Piracicaba, 2012.

RAM, K. A. *et al.* Subdivision and fragmentation of land holdings and their implication in desertification in the Thar Desert, India. **Journal of Arid Environments**, v. 41, p. 463-477, 1999.

REIS, Jurandir Gondim. **Desertificação no Nordeste**. Recife: SUDENE, 1988.

RENARD, K. G.; *et al.* **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation, Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: USDA/ARS – Agriculture Handbook n. 703, 1997.

RETALLACK, G.J. **Soils of the past: an introduction to paleopedology**. London, UK: Harper Collins Academic, 1991.

RIBEIRO, E. P.; NOBREGA, R. S.; MOTA FILHO, F. O.; MOREIRA, E. B. M. Estimativa dos Índices de Vegetação na Detecção de Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. **Geosul**, Florianópolis, v. 31, n. 62, p 59-92, jul./ago., 2016.

RIBEIRO, E. P.; NOBREGA, R. S.; MOTA FILHO, F. O.; MOREIRA, E. B. M. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 32, p. 221-246, 2015.

RIBEIRO, E. P.; NOBREGA, R. S.; MOTA FILHO, F. O. Spatiotemporal rainfall variability in the Pajeú river basin, Pernambuco, Brazil. **Journal of Environmental Hydrology**, v. 23, p. 1-20, 2015.

RIQUIER, J.; ROSSETTI, C. **Considérations méthodologiques sur l'établissement d'une carte des risques de désertification**: Rapport d'une consultation technique. Rome: FAO, 1976.

RODRIGUES, V (Org). Avaliação do quadro da Desertificação no nordeste do Brasil: Diagnósticos e perspectivas. In: **Conferência Internacional sobre Impacto das Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável em Regiões Semiáridas**. Fortaleza, 1992. Disponível em: < http://www.icid18.org/arquivos/volume8_pt.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2010.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

ROMARIZ, Dora de Amarante. A Vegetação. In: AZEVEDO, Aroldo (org). **Brasil a Terra e o Homem**. São Paulo: Nacional, 1962.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B; SÁ, I. B. Cobertura Vegetal e Uso da Terra na Região do Araripe Pernambucana. **Mercator**, v.9, n.19, p. 143-163, 2010.

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no Semiárido brasileiro. In: ANGELOTTI, F. *et al.* (Org.) **Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido; Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2009.

SÁ, I. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, A. S. Desertificação na região de Cabrobó: a realidade vista do Espaço. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. 3. 2006. **Anais...** Aracaju, 2006.

SALES, M. C. L. O panorama da desertificação no Brasil. In: MOREIRA, E. (org.) **Agricultura familiar e desertificação**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2006.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Análise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: SILVA, J. B. *et al.* (Org.). **Litoral e Sertão, natureza e sociedade no Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

SALES, M. C. L. Degradação ambiental em Gilbués, Piauí. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, v.2, n. 4, p. 115-124, 2003.

SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SANTOS, E. G.; *et al.* Análise de parâmetros ambientais no núcleo de desertificação de Irauçuba - CE usando imagens de satélite. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 05 (Número Especial – VIWMCRHPE), p. 915 – 926, 2014.

SANTOS, C. A.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, p.39-47, 2009.

SANTOS, C. A.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n.3, p. 303-312, 2007.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5 ed. Viçosa/MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SENA, J. P. O.; LUCENA, D. B. Identificação de tendência da precipitação na Microrregião do Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, n.5 p. 1400-1416, 2013.

SHARP, R. *et al.* **InVEST 3.2.0 User's Guide**. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2015. Disponível em: <<http://www.naturalcapitalproject.org/invest/>>. Acesso em: 03 Nov. 2015.

SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A.; TEIXEIRA, W. G. Solos Tropicais. in: SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

SILVA, W. S. [*et al.*]. Teste sazonal de Mann Kendall para detectar tendências nas séries temporais de temperatura e umidade relativa do ar na cidade de Uberlândia MG. **Anais do XII Encontro Mineiro de Estatística – MGEST**, Uberlândia, 2013.

SILVA, R. A. [*et al.*]. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.5, p.501–509, 2010.

SILVA, R. M. *et al.* Soil loss prediction in Guaraíra river experimental basin, Paraíba, Brazil based on two erosion simulation models. **Revista Ambiente e Água**, v. 2, n. 3, p. 19-33, 2007.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251–259, 2004.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no Sertão de Pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1, jan./abr., 2010.

_____. Detecção de tendências na ocorrência de veranicos na microrregião do Pajeú – PE. **Revista de Geografia**, Recife, v. 26, n. 3, set./dez., p. 263-275, 2009.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, publications in Climatology. v. 8, n. 1, New Jersey, 104 p., 1955.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38: 55-94, 1948.

_____. **Atlas of climatic types in the United States (1900-1939)**. Washington: United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1941. (Miscellaneous Publication, 421).

_____. The Climates of the Earth. **Geographical Review**, 23: 433-440, 1933.

_____. The Climates of North American according to a new classification. **Geographical Review**, 21: 633-655, 1931.

TORRES, F. S. M.; PFALTZGRAFF, P. A. S.. **Geodiversidade do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2014. 282 p + DVD-ROM (Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade)

UNCCD (2011a). **Ficha Informativa, 2**. Disponível em: <<http://www.unccd.int/publicinfo/factsheets/spa.php>>. Acesso em: 17 fev. 2011.

UNCCD (2011b). **Ficha Informativa, 11**. Disponível em: <<http://www.unccd.int/publicinfo/factsheets/spa.php>>. Acesso em: 17 fev. 2011.

UNCCD (2011c). **Ficha Informativa, 12**. Disponível em: <<http://www.unccd.int/publicinfo/factsheets/spa.php>>. Acesso em: 17 fev. 2011.

UNCCD (2011d). **Ficha Informativa, 13**. Disponível em: <<http://www.unccd.int/publicinfo/factsheets/spa.php>>. Acesso em: 17 fev. 2011.

UNCCD (2011e). **Ficha Informativa, 14**. Disponível em: <<http://www.unccd.int/publicinfo/factsheets/spa.php>>. Acesso em: 17 fev. 2011.

UNCCD (2011f). **Ficha Informativa, 15**. Disponível em: <<http://www.unccd.int/publicinfo/factsheets/spa.php>>. Acesso em: 17 fev. 2011.

UNESCO. **Map of World Distribution of Arid Regions**. Paris: UNESCO, 1979.

VASCONCELOS SOBRINHO, João de. **Processos de Desertificação ocorrentes no Brasil: sua gênese e sua contenção**. Recife: SUDENE, 1982.

VASCONCELOS SOBRINHO, João de. **Metodologia para identificação de processos de desertificação**. Recife: SUDENE-DDL, 1978.

VASCONCELOS SOBRINHO, João de. **Problemática ecológica do rio São Francisco**: conferência pronunciada na Assembleia Legislativa de Pernambuco, em 6 de julho de 1971. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1971.

VIEIRA, R. M. S. P.; CARVALHO, V. C.; ALVALÁ, R. C. S. Mapas de variabilidade temporal do uso e cobertura da terra do núcleo de desertificação de Irauçuba (CE) para

utilização em modelos meteorológicos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 14. 2009. **Anais...** Natal, p. 6077-6083, 2009.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).

WMO. World Meteorological Organization. **Standardized Precipitation Index: User Guide**. 2012. Disponível em: <http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf>. Acesso em: 12 Jul. 2016.

YUE, P. S.; YANG, T. C.; WU, C. K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**, v.260, p.161-175, 2002.

ZHAO, H. L. *et al.* Desertification process due to heavy grazing in Sandy rangeland, Inner Mongolia. **Journal of Arid Environment**, v. 62, p. 309-319, 2005.