

Análise multitemporal do processo de degradação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Jaibaras no Estado do Ceará

***Daniel Dantas Moreira Gomes**

****Lúcia Maria Silveira Mendes**

*****Cleyber Nascimento de Medeiros**

******Cesar Ulisses Vieira Veríssimo**

RESUMO: Este trabalho teve o objetivo de identificar e quantificar os níveis de degradação da cobertura vegetal na área da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras/CE, no período de 24 anos, mais precisamente, nos anos de 1985, 1992, 1996, 2007 e 2009. Através do uso de técnicas de processamento digital de imagens foram elaborados os mapas temáticos dos níveis de degradação da cobertura vegetal, sendo mesma classificada em: vegetação conservada, parcialmente degradada, degradada, fortemente degradada e solo exposto. A partir da análise empreendida constatou-se o desgaste e a evolução dos níveis de deterioração da vegetação da área estudada.

* Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará

** Professora colaboradora da Universidade Estadual do Ceará, Mestrado Acadêmico em Geografia

***Mestre em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

****Professor do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará

Multitemporal analysis of the process of degradation of vegetation River basin Jaibaras in the State of Ceará

Palavras-chave: Vegetação; Degradação; Bacia Hidrográfica; Ceará

Key-words: Vegetation; Degradation; River Basin; Ceará.

ABSTRACT: This study aimed to identify and quantify the levels of degradation of the vegetation in the area of River Basin Jaibaras / CE in the period 24 years, more precisely, in the years 1985, 1992, 1996, 2007 and 2009. Through the use of techniques of digital image processing were produced thematic maps of the levels of degradation cover, being ranked the same: vegetation conserved, partially degraded, degraded, severely degraded and bare soil. From the analysis undertaken it was found and the evolution of the wear levels deterioration of the vegetation of the area studied.

Introdução

A Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas, no Estado do Ceará, apresenta uma diversidade paisagística bem significativa, pois está localizada em uma região de semi-aridez que contrasta com a paisagem da serra subúmida da Meruoca e do Planalto da Ibiapaba, evidenciando assim os seus recursos naturais de acordo com suas peculiaridades geoambientais. Desta forma, o manejo inadequado desses recursos, acima de sua capacidade de suporte, tem propiciado condições de degradação da cobertura vegetal da bacia.

Neste contexto, segundo Gomes (2010), a análise da cobertura vegetal e dos seus níveis de degradação, em estudo de bacia hidrográfica, auxilia no entendimento da dinâmica do uso e ocupação e serve como ferramenta para o desenvolvimento de políticas públicas de gestão da bacia.

De acordo com Antonelli e Thomaz (2007), a combinação de diversos dados ambientais permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem a vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas.

Para Tricart (1977), as modificações na cobertura vegetal, provocam alterações no equilíbrio do ambiente, onde essas modificações aceleram os processos de erosão, aumento da temperatura local, redução da recarga d'água de rios e aquíferos, entre outros eventos, justificando-se a manutenção da cobertura vegetal para o equilíbrio ambiental.

Os estudos de bacias hidrográficas têm sido facilitados pela utilização de produtos e técnicas geoprocessamento, facilidade esta adquirida pela possibilidade de uma visão sinóptica de toda a bacia e pela capacidade de integração e cruzamento de dados de diferentes fontes (GOMES, 2011).

Levando em consideração a análise da cobertura vegetal, a detecção de mudanças em seus níveis de degradação, ou em seu estado fenótico, pode ser determinada por meio de métodos e técnicas que utilizam os Índices de Vegetação em datas distintas.

Assim, o objetivo principal do artigo é analisar uma série multitemporal de imagens do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), do inglês Normalized Difference Vegetation Index, identificando e quantificando os níveis de degradação da cobertura vegetal na área da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas/CE, no período de 24 anos.

Aplicando diferentes técnicas de processamento digital de imagens em dados do satélite TM LANDSAT 5, referentes aos anos de 1985, 1992, 1996, 2007 e 2009, para obtenção de informações da cobertura vegetal, foi permitido, quantificar e mapear os dados relativos à ação antrópica e a cobertura vegetal na área da bacia, a partir de imagens NDVI.

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas (Figura 1) localiza-se na porção Centro-Norte do Estado do Ceará, a uma distância de 257 km da capital Fortaleza, ocupa uma área de 1.567 km², situada entre as coordenadas 4°08'50,13" e 3°35'41,96" de latitude Sul e 40°51'40,51" e 40°21'09,92" de longitude Oeste, sendo uma importante sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú.



Figura 1 — Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras / CE no contexto do Estado do Ceará.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como área de estudo.

Assim, as definições propostas para bacia hidrográfica assemelham-se ao conceito dado por Barrella (2001), sendo definido como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

Para o desenvolvimento do trabalho, a sub-bacia do Rio Jaibaras será considerada uma bacia hidrográfica, sendo levado em conta somente sua unidade natural, cujo seus limites são determinados pelo escoamento das águas superficiais do Rio Jaibaras e pela topografia que delimita o mesmo.

Vale destacar que o Rio Jaibaras banha nove municípios do Estado do Ceará (tabela 1), apresentando uma diversidade ambiental, caracterizado pela influência paisagística da serra da Meruoca em contraste com o sertão central e a borda Leste do Planalto da Ibiapaba, formando uma grande rede de retalhos litológicos, pedológicos e de cobertura vegetal.

Município	Área total do Município (km ²)	% da área do município em relação a área da bacia	Área do Município que compõe a Bacia (km ²)	% da área do município que compõe a bacia
Alcântaras	138,60	19,28	26,78	1,71
Carié	756,89	58,32	441,48	28,16
Graça	281,89	99,31	279,97	17,86
Ibiapina	414,90	2,00	8,31	0,53
Meruoca	144,94	14,98	21,72	1,39
Mucambo	190,54	71,37	135,99	8,67
Pacujá	76,10	100,00	76,71	4,89
Reriutaba	383,12	21,34	81,76	5,22
Sobral	2122,98	23,31	494,99	31,57

Geografia Ensino & Pesquisa, v. 15, n.2, p. 41-62, maio/ago. 2011

Gomes, D. D. M. et al.

Tabela 1 — Municípios banhados pela Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras.
Fonte: Elaboração dos autores.

Detecção de mudanças na cobertura vegetal através do sensoriamento remoto

A utilização dos índices de vegetação tem se tornado uma importante ferramenta para o sensoriamento remoto, sendo empregados na busca de relacionar as informações captadas pelos sensores com a vegetação presente na área imageada. Através destes índices são obtidas informações sobre quantidade de biomassa verde e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento da vegetação (FIRMINO, 2009).

Segundo Ponzoni e Shimakuro (2007), existem diversos índices de vegetação propostos na literatura, objetivando explorar as propriedades espectrais da vegetação, onde sua fundamentação reside no comportamento espectral na região do visível e do infravermelho próximo.

Para Liu (2007), os múltiplos índices de vegetação usados para monitorar e quantificar as condições e distribuições espaciais das vegetações, usando os dados digitais de reflectâncias espectrais da radiação eletromagnética, possui como objetivo condensar as informações espectrais e discriminar o que é ou não vegetação, avaliando as condições de crescimento das culturas, ocorrências de doenças, pragas, secas e geadas, bem como diversos eventos meteorológicos.

Entre as vantagens da aplicação dos índices de vegetação para o monitoramento e discriminação da vegetação Liu (2007) cita as seguintes:

Os dados compactos dos índices de vegetação são calculados com os dados de reflectância das várias faixas espectrais da energia de radiação eletromagnética; Os valores relativos compensam a variação de intensidade da radiação; Corrigem parcialmente os efeitos das condições atmosféricas e das variações de ângulos de visada da reflectância recebida pelos sensores nas bandas que compõem os índices são da mesma magnitude. (LIU, 2007, p.217).

Segundo Xavier e Vettorazzi (2004), a importância dos índices de vegetação consiste em delimitar a área da cobertura verde da superfície analisada.

O NDVI foi inicialmente proposto por Reuse et al em 1973 em seu artigo *Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains With Ert*s, onde o índice de vegetação era calculado pela diferença de reflectância entre a faixa de infravermelho próximo - NIR (0,725 a 1,10 micrometros) e a faixa do visível - VIS (0,4 a 0,7 micrometros) (LIU, 2007). O mesmo é calculado pela fórmula 01:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS}). \quad (01)$$

O NDVI possui como grande vantagem sobre outros índices de vegetação a eliminação parcial das interferências atmosféricas, das perturbações radiométricas e geométricas (Liu, 2007).

De acordo com Ponzoni e Shimakuro (2007, p. 33), para a geração das imagens de índice de vegetação é importante a transformação dos números digitais (ND) para valores de radiância, e salientam que:

A não conversão dos números digitais das imagens em valores físicos como radiância ou fatores de reflectância bidirecional na elaboração de imagens Índice de Vegetação pode implicar em erro grave, pois os números digitais não estão em uma mesma escala radiométrica nas diferentes bandas, o que vale dizer que um determinado valor de número digital em uma determinada imagem de uma banda espectral específica, não corresponde

à mesma intensidade de radiação medida ou representada pelo mesmo valor de número digital em outra imagem de outra banda espectral. (PONZONI e SHIMAKURO, 2007, p. 33).

Desta forma Ponzoni e Shimakuro (2007) recomendam não proceder o cálculo de índices de vegetação sem converter os dados das imagens em valores físicos como radiância.

Material e métodos

As imagens do satélite Landsat 5 do sensor TM, apresentando um pixel de 30 metros nas bandas 3, 4 e 5, que recobrem a área de estudo situam-se na órbita 218, ponto 63 e são datadas de 25/6/1985, 30/07/1992, 11/09/1996, 25/08/2007 e 02/11/2009, sendo obtidas no catálogo de imagens do INPE-Brasil (2009).

Os procedimentos metodológicos utilizados foram divididos em seis fases complementares (Figura 2). A primeira foi o levantamento bibliográfico e de dados geocartográficos existentes da área da bacia. A segunda a montagem do banco de dados geográfico, em ambiente computacional do software SPRING 4.3.3, reunindo as informações já existentes. A terceira correspondeu ao processamento digital de imagens para geração de produtos que serviram como base para os mapeamentos temáticos, incluindo a classificação da cobertura vegetal a partir de imagens NDVI entre os anos analisados. A quarta se refere ao trabalho de campo para melhor quantificar a acurácia das classificações efetuadas. A quinta consiste na geração dos mapas temáticos dos níveis de degradação para os anos de estudo e a sexta foi à análise dos resultados, quantificando o nível de degradação da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas.

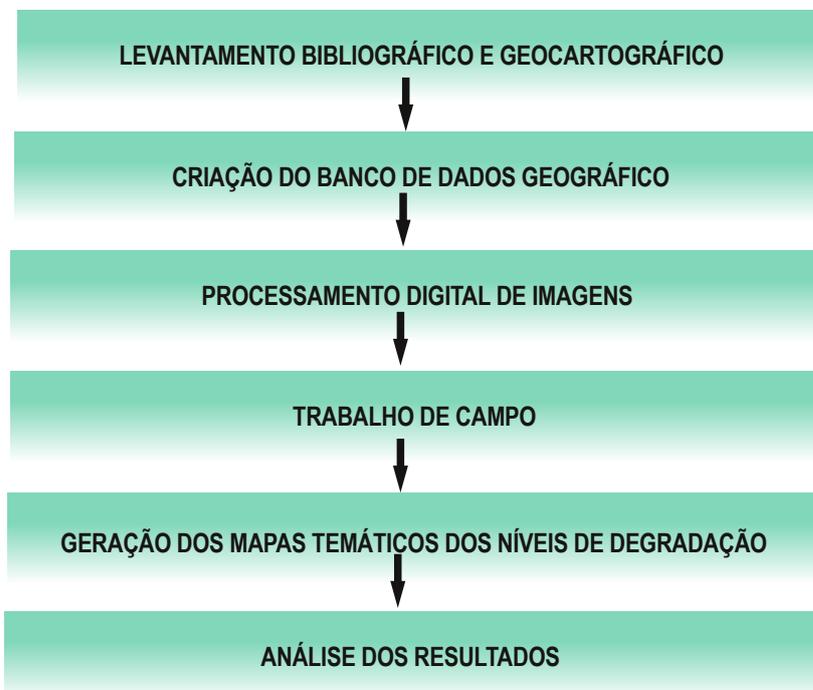


Figura 2 — Fluxograma das etapas metodológicas.
Fonte: Elaboração dos autores.

A pesquisa teve início com o levantamento de material bibliográfico e de dados geocartográficos da área de estudo em diversas instituições com atividades voltadas ao meio ambiente no Estado do Ceará. Foram consultados artigos, livros e mapas para sustentação teórica da pesquisa e usadas bases de dados secundários que colaboraram na montagem do banco de dados geográfico e na caracterização da área da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras.

Ainda na etapa de levantamento bibliográfico e de dados geocartográficos, foram adquiridas as imagens do satélite TM Landsat 5, que podem ser visualizadas na Figura 3.

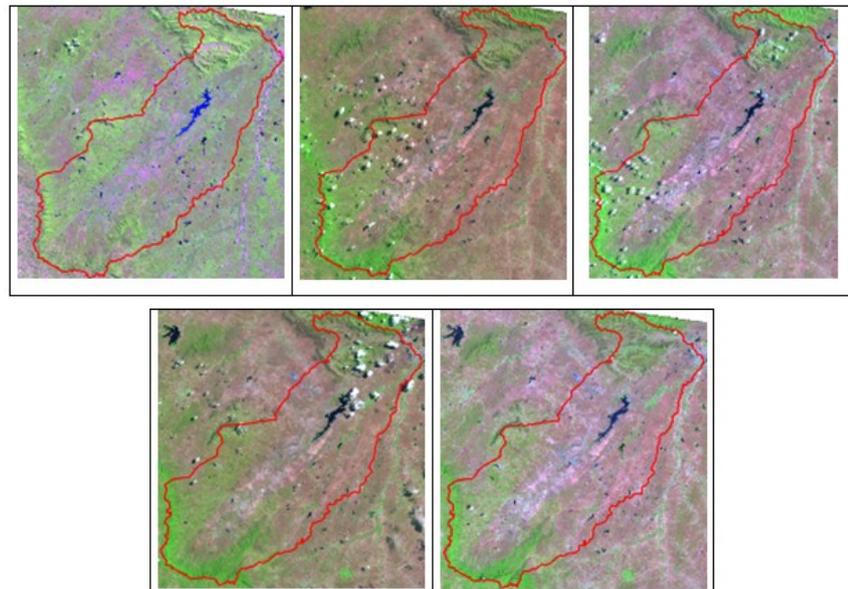


Figura 3 — Exemplo de composição colorida 5(R)4(G)3(B) das Imagens TM/Landsat-5, datadas respectivamente de 25/6/1985, 30/07/1992, 11/09/1996, 25/08/2007 e 02/11/2009, com os limites da área em estudo (Cor vermelha).

Foram feitos também o download no site da National Aeronautics and Space Administration – NASA (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>), de duas imagens geocover no formato Mrsid, onde essas serviram como referência para registrar/georreferenciar às imagens de satélite Landsat 5 da área da bacia, objetivando efetuar a correção geométrica das mesmas. As cenas geocover possuem resolução espacial de 14,5 metros e são ortorretificadas, tendo referência espacial e precisão planimétrica para a escala de 1:100.000 na execução do registro das cenas Landsat 5.

Em seguida, o material geocartográfico foi organizado em um banco de dados geográfico utilizando o software SPRING 4.3.3, o qual permite a integração, o armazenamento, e as operações em SIG do referido material. O banco de dados criado permite a elaboração de vários projetos distintos e independentes, podendo ser integrados quando necessário. Como padrão para todos os projetos foi escolhido o sistema de gerenciamento de banco de dados dBASE, devido a capacidade de gerenciar grande quantidades de dados, chegando a ultrapassar 2 GB, que é o limite de outros gerenciadores.

Na etapa de Processamento Digital de Imagens (PDI) foram aplicadas técnicas para facilitar a extração de informações contidas nas imagens de todos os anos estudados. As técnicas dividiram-se em atividades de pré-processamento e processamento.

O Processamento Digital de Imagens é usado para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e para fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (INPE, 2003).

Na etapa de pré-processamento foram realizadas nas imagens o recorte da área da bacia e a correção geométrica. O processamento foi empregado visando realçar as informações relativas à cobertura vegetal. Para isso foram efetuadas a produção de composições coloridas (RGB), realce de imagens, operações aritméticas (NDVI) e classificação para gerar os mapas temáticos.

Os dados de satélite podem conter um contraste espectral de baixa qualidade visual, deste modo, as composições coloridas, o realce de imagem e as operações aritméticas são procedimentos aplicados para melhorar a qualidade visual das mesmas (Medeiros, 2004).

No pré-processamento, todas as cenas foram arquivadas em pastas distintas, variando por data de imageamento, ficando assim em cada pasta sete bandas espectrais distintas. Como o sensor Landsat 5 apresenta uma resolução espacial de 30 metros e possui apenas uma única banda, correspondendo ao infravermelho termal, com resolução espacial de 120 metros, foi realizada uma reamostragem desta banda de forma que a mesma passasse de uma resolução de 120x120 metros para 30x30 metros, conforme as demais.

Após a correção geométrica foram calculados os índices de vegetação, pelo método da diferença normalizada, através da ferramenta “Operações Aritméticas” disponível no software SPRING 4.3.3.

Em seguida, as imagens NDVI foram compostas com as bandas 4 e 3, passando por um processo de segmentação, classificação e interpretação para obtenção do mapa dos níveis de degradação da vegetação da Bacia do Rio Jaibas (Figura 4).

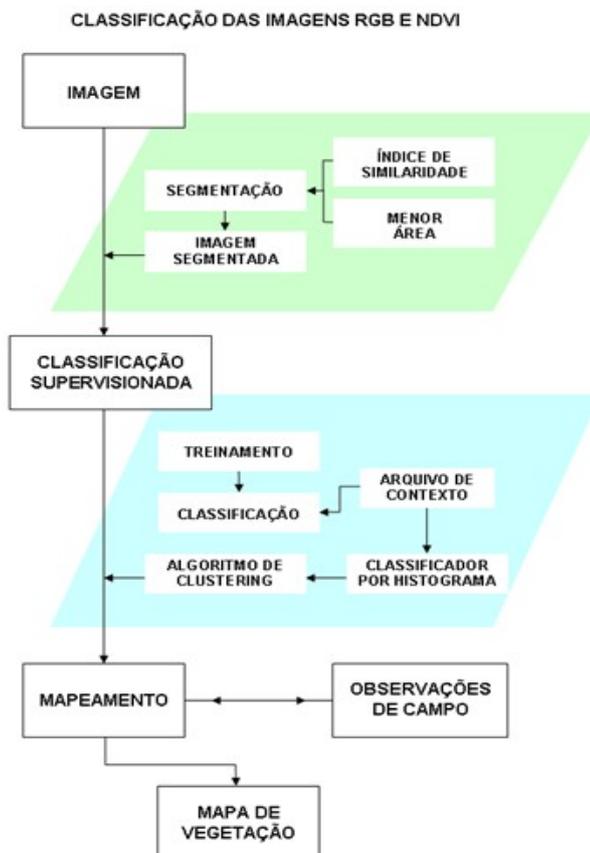


Figura 4 - Fluxograma da metodologia da classificação das imagens.
 Fonte: Elaboração dos autores.

As imagens processadas foram submetidas à segmentação utilizando o software SPRING 4.3.3. O método escolhido foi o de crescimento de regiões. Nesse método a imagem é dividida em regiões levando em consideração uma análise pontual para cada pixel. A partir daí os pixels foram agrupados com valores de similaridade inferiores ao limiar igual a 10 para todas as imagens com composição colorida RGB 4NDVI3, sendo fragmentadas em sub-imagens, e reagrupadas em seguida, com o limiar de agregação para uma área mínima igual a 10 pixels. De várias aproximações testadas, os valores de similaridade 10 e de área mínima de 10 pixels foi o resultado mais homogêneo. A composição colorida RGB 4NDVI3 facilitou a homogeneização da reflectância do espectro eletromagnético, possibilitando uma melhor separação dos segmentos, e melhorando a precisão do mapeamento.

Após esta etapa, efetuou-se uma classificação supervisionada por região baseada na definição de áreas de treinamento para as oito classes temáticas, definidas na etapa do modelo de dados. Para realizar a classificação, usou-se o algoritmo "Classificador por Histograma", implementado no software SPRING 4.3.3, que adquire amostras de treinamento para estimar a probabilidade dos agrupamentos (clustering) para as classes determinadas pelo analista, onde ao final, todas as regiões da imagem ficaram associadas a uma classe definida.

Foram levados em consideração na seleção das amostras de treinamento os critérios de fotointerpretação relacionados em seus elementos fundamentais, em seguida foi feito trabalho de campo para observar os elementos encontrados nas imagens: textura de relevo e drenagem, que se dispõem na superfície da imagem definindo estruturas e formas, e matizes de cores, relacionados ao padrão de resposta espectral dos principais alvos da superfície terrestre (MEDEIROS et al, 2005).

Por fim, foram verificadas as informações geradas na classificação supervisionada por região e realizado um mapeamento prévio da vegetação associando as classes: nuvens, sombras, água e para vegetação conservada, parcialmente degradada, degradada, fortemente degradada e solo exposto.

Com o objetivo de avaliar e constatar a exatidão e veracidade da classificação prévia foi realizada a etapa de trabalho de campo, onde foi percorrida toda a bacia em estudo, com o apoio de um GPS e de uma câmera fotográfica, onde foram visitadas as áreas classificadas e apontadas como áreas de vegetação conservada, parcialmente degradada, degradada, fortemente degradada e solo exposto.

O trabalho de campo foi executado com o auxílio das imagens Landsat 5, mapas de classificação prévia e mapas altimétricos, facilitando assim a análise das classes geomorfológicas e das características de uso e ocupação do solo. O mesmo foi fundamental para o reconhecimento e verificação da verdade terrestre e do mapeamento prévio, onde buscou-se visitar diversos lugares com características e resultados distintos de classificação. Desta forma, percorreu-se a bacia hidrográfica de forma objetiva, já que esta apresenta aproximadamente 1.567 km² de área e banha parte de nove municípios, sendo realizados dois campos distintos onde o primeiro percorreu o maciço residual da Meruoca e o segundo o médio e o alto curso da bacia.

A classificação definitiva foi concluída com base nos dados levantados no trabalho de campo. Em seguida procedeu-se a vetorização da matriz classificada através da função Mapeamento, no software SPRING 4.3.3. Esta opção permitiu a quantificação das áreas de cada classe de cobertura vegetal e a análise dos níveis de degradação.

Resultados e discussão

Descrição da Vegetação

A vegetação é de extrema importância para a manutenção da biodiversidade e proteção dos solos, pois essa, além de realizar a fotossíntese, servindo como produtor primário, produz oxigênio e celulose. Atua paralelamente na proteção do solo, pela capacidade de interceptar as chuvas, atenuando a incidência direta sobre os solos e interrompendo o carreamento mais expressivo de sedimentos, minimizando assim o efeito da erosão (GOMES, 2011).

No que se refere às características fitoecológicas, a Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras apresenta uma diversificação bastante acentuada em toda sua extensão, isto se dá devido a uma forte inter-relação que o clima, os solos, a altimetria e o uso e ocupação (relação Sociedade e Natureza), exercem sobre a vegetação, determinando particularidades em seus aspectos naturais de acordo com as características geoambientais. Entre as principais unidades vegetacionais encontradas na bacia, destacam-se as Caatingas, divididas em Caatinga Arbustiva Aberta e Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea), a Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca), a Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) e a Mata Ciliar.

A cobertura vegetal das Caatingas ocupa a maior parte da depressão sertaneja da bacia, sendo influenciada pela predominância do clima semi-árido na região, onde são adaptadas às condições severas da semi-aridez, caracterizada pela relevante irregularidade das precipitações, bem como sua escassez no tempo e no espaço, aliadas as elevadas temperaturas e aos altos índices de evapotranspiração.

Segundo Fernandes (1990 e 1998), as espécies dominantes na Caatinga são: carnaúba (*Copernicia prunifera*), catingueira (*Caesalpinia bracteosa*), pinhão bravo (*Jatropha mollissima*), juazeiro (*Ziziphus juazeiro*), oiticica (*Licania rígida*), marmeleiro preto (*Croton sonderianus*), jurema preta (*Mimosa tenuifolia*), jurema branca (*Piptadenia stipulacea*), velame (*Croton* sp), coronha (*Acácia farnesiana*), jucá (*Caesalpinia ferrea*), sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), mofumbo (*Combretum leprosum*), pau-branco (*Auxemma onocalyx*) e as cactáceas: xiquexique (*Ploceurus gounelli*), mandacaru (*Cereus jamacaru*), facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), entre outras.

A Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) possui características de transição entre a Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) e as Caatingas, normalmente ocupando os níveis inferiores e médios do maciço residual da Meruoca e do Planalto da Ibiapaba, possuindo variação altimétrica de 330 a 500 metros, normalmente a declividade é superior a 25°, possui maior porte quando comparado com a Caatinga Arbórea, mesmo ocupando áreas de solos rasos.

De acordo com Fernandes (1998), as principais espécies que caracterizam a Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) são: o pau d'arco (*Tabebuia serratifolia*), angico (*Anadenanthera macrocarpa*), imburana (*Amburana cearensis*), aroeira (*Myracrodruon urundeva*), pitomba (*Talisia esculenta*), e a barriguda (*Ceiba glaziovii*).

A cobertura vegetal da Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) necessita de uma maior umidade, típica de terrenos de maior altitude, ou seja, superiores a 500 metros, característicos de ambientes serranos. A bacia do Jaibaras tem sua principal representação no Planalto da Ibiapaba e na vertente úmida da serra da Meruoca. É uma

vegetação com características perenifólias, onde permanecem cerca de 75% a 100% de sua folhagem o ano todo.

Segundo Figueiredo (1997), a fisionomia da cobertura vegetal da Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Mata Úmida) é semelhante, tanto para as serras cristalinas, quanto para as sedimentares, mas sua composição florística possui diferenças significativas. Árvores de caules retilíneos, espessos, cobertos muitas vezes por líquens, orquídeas, samambaias e bromélias, alcançam 30 metros de altura.

Para Figueiredo (1997) as principais espécies que caracterizam a Mata Úmida são: sambacuí (Didymopanax morototoni), pau-darco-amarelo (Tabebuia serrafolia), almécega (Protium heptaphyllum), mamoeiro-bravo (Jaracatia spinosa), orelha-de-burro (Clusia nemorosa), amarelão (Ateleia ovata), potumuju (Centrolobium microchaete), Bálsamo (Myroxylon peruiferum), abacate-bravo (Phoebe brasiliensis), murici-da-serra (Byrsonima cripa), pé-de-anjo (Norantea guianensis), ingá (Inga bahiensis), canafistula-da-serra (Pithecellobium traouzifolium), cajueiro-bravo (Rapanea guianensis), guabiraba (Campomanesia dichotoma), folha-miuda (Myrcia rostra), João-mole (Guapira oppoita), pinheiro (Podocarpus sellowii), erva-de-rato (Palicourea aenueofusca), cocão (Esenbeckia grandiflora), limãozinho (Zanthoxylum rhoifolium), Paraíba (Simarouba amata), piroá (Basilloxylon brasiliensis), entre outras.

A cobertura vegetal de mata ciliar é uma vegetação que possui melhores condições hídricas e com solos mais férteis, por recobrirem a planície fluvial do Rio Jaibas, apresentando assim uma vegetação que se diferencia da caatinga. Normalmente está associada a culturas extrativistas, como a extração da folha de carnaúba, ou associado ao cultivo agrícola, favorecido por solos mais férteis e uma maior disponibilidade hídrica.

Para Figueiredo (1997) as matas ciliares por estarem situadas em áreas com pouca declividade, tendo em vista que os processos de sedimentação se sobrepõem aos da erosão, encontram terrenos propícios ao seu desenvolvimento. Dentre as principais espécies encontradas nas matas ciliares destaca-se a carnaúba (Copernicia prunifera), o mulungu (Erythrina velutina), juazeiro (Zizyphus joazeiro), oiticica (Licania rígida) e ingá-brava (Lochocarpus serius), além de outras espécies arbustivas e trepadeiras.

Na área da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas também ocorrem a presença de solos expostos, às vezes associados com vegetação rasteira. Tratam-se de áreas que estão ligadas à agricultura de subsistência e à pecuária extensiva de caprinos e bovinos, onde são utilizadas como pasto, e quando não servem mais para esta finalidade são abandonadas. Ocupam normalmente áreas com menor declividade, localizadas na depressão sertaneja da mencionada bacia.

A Figura 5 exemplifica as diferentes tipos de cobertura vegetal encontradas na bacia, sendo constatada a presença Caatinga Arbustiva Aberta com pouca intervenção antrópica, a Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea), Mata Seca e Mata Úmida em forma conservada, na escarpa do Planalto da Ibiapaba, Mata Ciliar conservada, próxima a parede do açude Aires de Souza, no município de Sobral e uma área de solo exposto abandonada sem uso econômico atualmente.

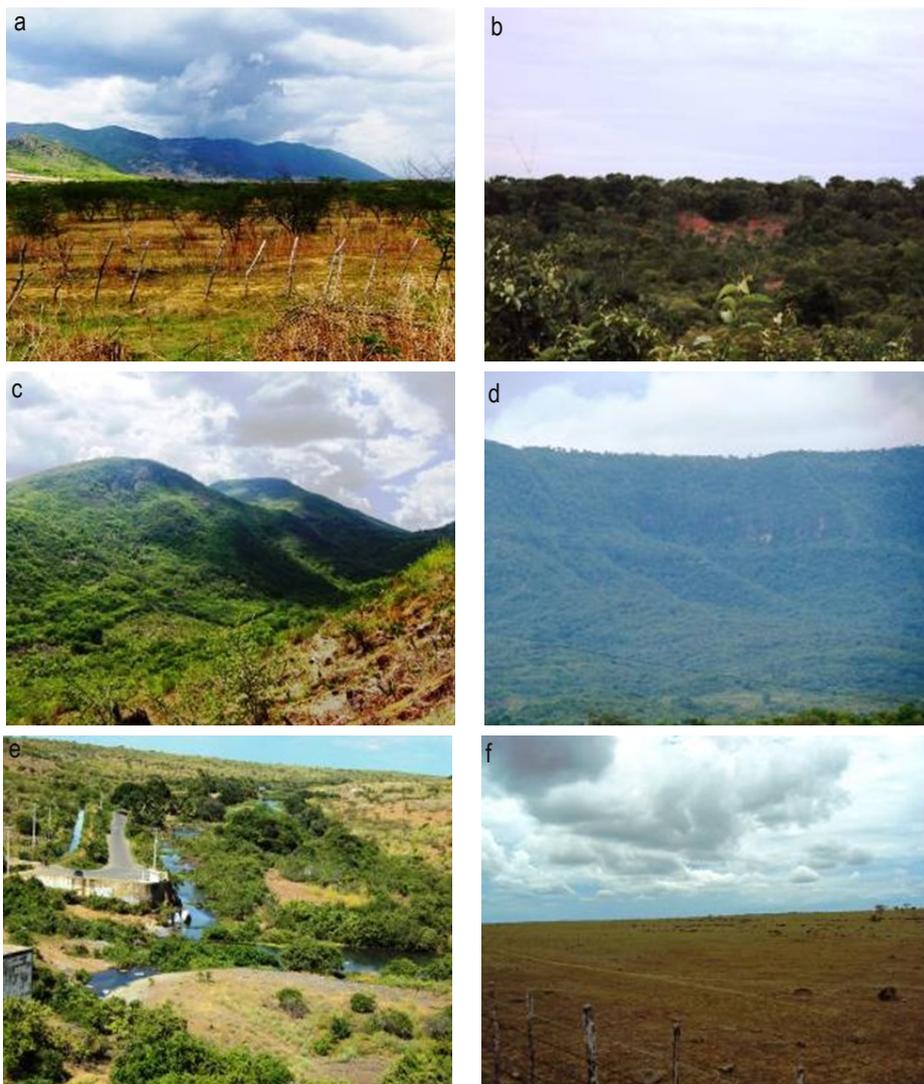


Figura 5 — Diferentes tipos de cobertura vegetal encontradas na bacia: a), Caatinga Arbustiva Aberta; b) Caatinga Arbórea; c) Mata Seca; d) Mata Úmida; e) Mata Ciliar; f) Solo exposto.

Fonte: Fotos tiradas em campo.

Evolução da alteração da cobertura vegetal no período estudado

Através do uso de técnicas de classificação, de tratamento digital de imagens e trabalho de campo, foram elaborados os mapas temáticos dos níveis de degradação da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas/CE. Em cada ponto visitado no campo, a classificação prévia dos mapas realizada na etapa do processamento digital de imagens foi analisada, observando-se como estava a cobertura vegetal e seu estado de degradação, comparando o mapa previamente classificado com a verdade terrestre, e a partir daí se fez à correção das distorções encontradas para, posteriormente, a geração dos mapas finais.

A classificação dos tipos de vegetação oriunda das imagens de satélite com o auxílio pelas imagens NDVI permitiu uma excelente resposta para análise da degradação da cobertura vegetal, possibilitando quantificar e calcular as áreas de cada nível de degradação (Tabela 2) e comparar esses níveis em diferentes datas.

Comparando os mapas, pode-se observar a influência determinante dos índices pluviométricos sobre a vegetação, pois os anos de 1985, 1996 e 2009, tiveram uma pluviometria

acima da média histórica para a região estudada, o que acarretou em uma recuperação da vegetação conservada

NÍVEIS	Áreas km ²				
	1985	1992	1996	2007	2009
Vegetação Conservada	183,96	148,74	164,83	110,02	143,77
Vegetação Parcialmente Degradada	443,56	215,63	405,58	304,93	370,23
Vegetação Degradada	555,31	634,74	426,62	663,88	685,41
Vegetação Fortemente Degradada	291,77	429,47	436,53	263,98	168,91
Solo Exposto	64,15	79,67	68,36	155,58	171,25
Nuvens	0,13	20,86	27,71	26,79	1,65
Sombra	0,11	19,60	16,81	20,32	1,70
Área Urbana	3,75	3,54	4,24	6,04	6,07
Água	24,97	15,46	17,02	16,16	18,73
TOTAL	1567971				

Tabela 2 – Evolução da área de degradação da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / CE, segundo a análise temporal.

Fonte: Elaboração dos autores.

Os mapas da classificação da cobertura vegetal resultantes das imagens compostas pelo NDVI com as bandas 4 e 3 da imagem Landsat foram analisados, individualmente, para identificação das mudanças em cada nível de degradação, verificando-se onde teve-se ganhos e perdas de área em cada nível e, posteriormente, comparados em conjunto, examinando para cada data estudada os percentuais mapeados e quanto isso representa em cada período.

A evolução quantitativa da degradação da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas, pode ser verificada nos gráficos das figuras 7, 8, 9, 10 e 11, que mostram a dinâmica da evolução dos níveis de degradação da cobertura vegetal. Esta evolução também, pode ser vista de forma espacializada em conjunto e individualmente nos cartogramas das figuras 12, 14, 16, 18 e 20, para os anos de 1985, 1992, 1996, 2007 e 2009.

Na figura 6, percebe-se a alteração nos níveis de degradação da cobertura vegetal, onde a maior parte da bacia está classificada no nível de vegetação degradada para os anos de 1985, 1992, 1996, 2007 e 2009, observando-se também o aumento crescente de áreas classificadas como solo exposto.

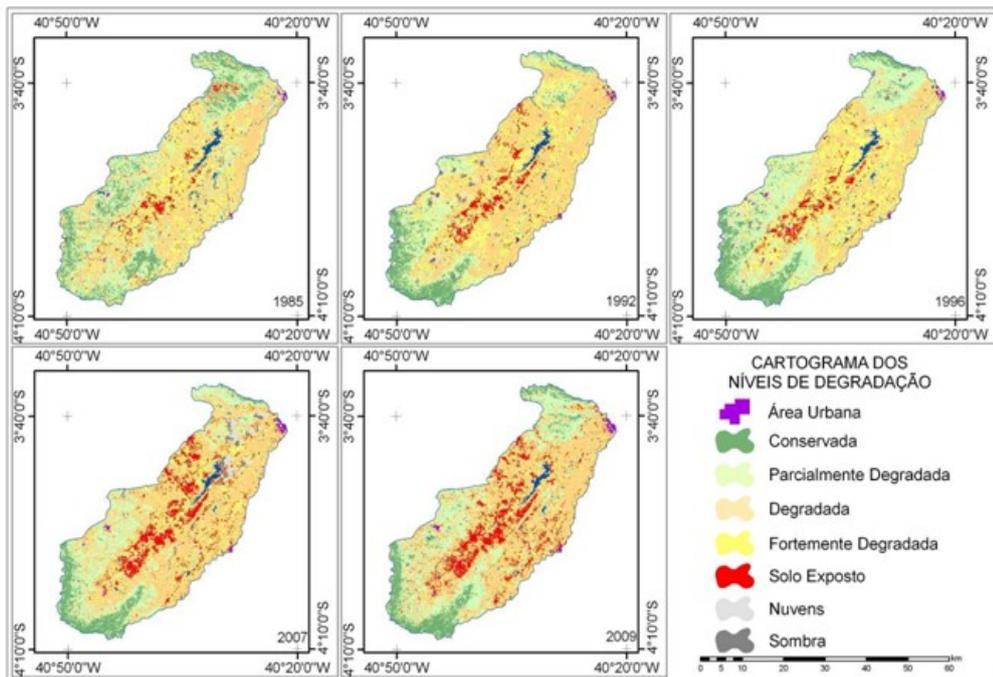


Figura 6 — Cartograma da distribuição dos níveis de degradação da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / CE, nos cinco anos estudados.

Na Figura 7 pode-se observar os percentuais das classes mapeadas para o ano de 1985. Já no ano inicial do estudo há uma predominância maior de área com vegetação degradada, representando 35,44% da área da vegetação da bacia hidrográfica, o que corresponde a 555,31km². As outras classes mais representativas são: Vegetação parcialmente degradada, fortemente degradada e conservada que possuem, respectivamente, 28%, 19% e 12% da área total.

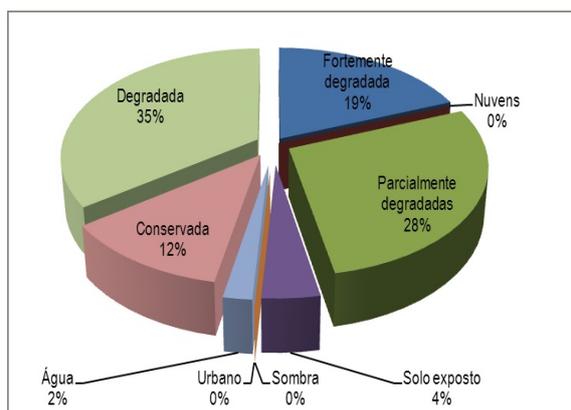


Figura 7 – Distribuição percentual da área das classes de vegetação mapeadas da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / CE, em 1985.

De acordo com a Figura 8, observam-se mudanças nos percentuais das classes mapeadas entre os anos de 1985 e 1992, pois passamos a ter 9% de área conservada, 14% de vegetação parcialmente degradada, 40% de vegetação degradada, 27% de fortemente degradada e 5% de solos expostos.

Os altos percentuais de modificação do estado de degradação da vegetação podem ser justificados, entre outros fatores, pela variação pluviométrica entre os dois anos.

No ano de 1985 os postos pluviométricos apresentaram médias superiores a 1.658 mm/ano, representando um ano com alto índice pluviométrico para a região, já no ano de 1992, as médias pluviométricas foram bastantes inferiores, ficando entre 424 mm/ano e 849 mm/ano.

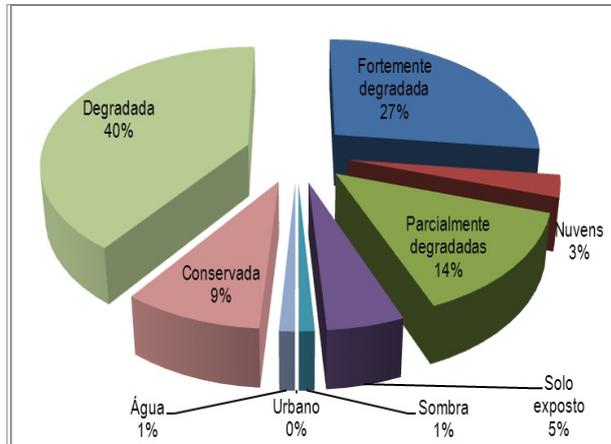


Figura 8 — Distribuição percentual da área das classes de vegetação mapeadas da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / CE, em 1992.

No ano de 1996, constatou-se novamente (Figura 9) as mudanças nos percentuais das classes mapeadas quando comparado ao ano de 1985, mesmo sendo um ano com bons índices pluviométricos, com a pluviometria variando entre 882mm/ano e 1.893 mm/ano, ou seja, a vegetação conservada e parcialmente conservada não retornou ao seu estado inicial do primeiro ano quantificado, mesmo com bons índices pluviométricos registrados.

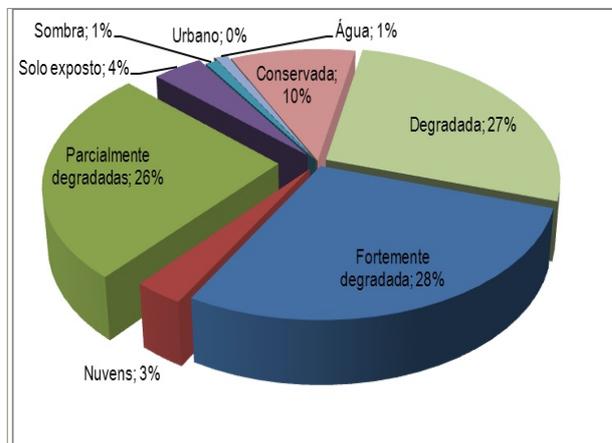


Figura 9 — Distribuição percentual da área das classes de vegetação mapeadas da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / CE, em 1996.

No ano de 2007, as alterações nos percentuais das classes mapeadas, conforme Figura 10, aumentaram em todas as áreas dos níveis de degradação, sendo: 19% da área com vegetação parcialmente degradada, 42% com vegetação degradada e 17% com vegetação fortemente degradada. O percentual de área com solo exposto teve um salto expressivo, passando de 4% para 10% da área da bacia, enquanto que a vegetação conservada foi reduzida de 12% para 7% entre os anos de 1985 e 2007.

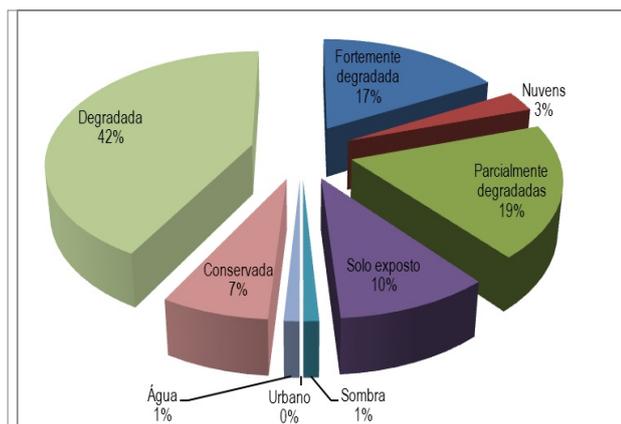


Figura 10 — Distribuição percentual da área das classes de vegetação mapeadas da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras / CE, em 2007.

O ano de 2009 foi um ano excepcional para os índices pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras, pois as médias variaram entre 1.320 mm/ano e 2.512 mm/ano, fator que influenciou nas alterações dos percentuais das classes mapeadas. Observa-se na figura 11, que a área com vegetação conservada teve um pequeno aumento, passando de 7% para 9% entre os anos de 2007 e 2009; enquanto a vegetação parcialmente degradada saiu de 19% para 23%; a vegetação degradada passou de 42% para 44% e as mapeadas como fortemente degradadas alcançaram 11% da área total, valor que foi de 17% em 2007. Já a classe de solo exposto, como não é influenciado pela precipitação, voltou a crescer, saindo de 10% para 11% no período analisado.

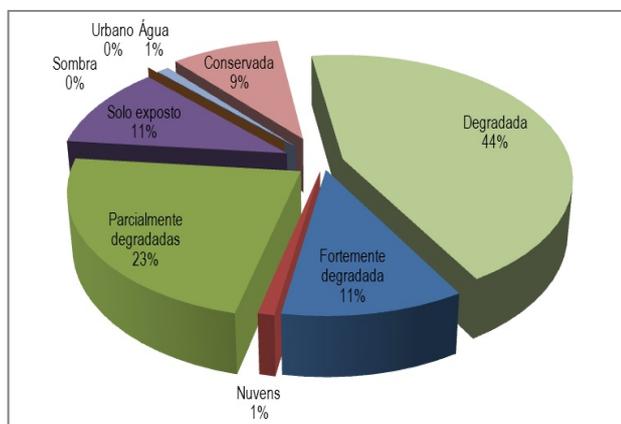


Figura 11 — Distribuição percentual da área das classes de vegetação mapeadas da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras / CE, em 2009.

Estudando a variação da área da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras com vegetação conservada (Figura 12), verifica-se uma alternância de percentual entre as datas estudadas, onde ora tem-se perda de vegetação conservada, ora tem-se ganho. Isto se deve pela alternância dos índices pluviométricos entre os anos em estudo, pois os anos de 1992 e 2007 tiveram médias bem inferiores aos outros anos e pelas características de uso e ocupação da terra pela população residente na bacia hidrográfica.



Figura 12 — Evolução do quantitativo de vegetação conservada na área total da bacia.

Levando em consideração a imagem de satélite mais antiga e a mais recente, bem como os resultados da classificação, verifica-se que a vegetação conservada passou de um percentual de 11,74% para 9,17%, representando uma perda de área com vegetação conservada de aproximadamente 40,19 km². Das três datas com características pluviométricas semelhantes, 1985, 1996 e 2009, a redução da vegetação conservada é comprovada. No cartograma da Figura 13 podem ser visualizadas as áreas com vegetação conservada nos períodos em estudo.

A Figura 14 mostra a evolução da área com vegetação parcialmente degradada, podendo-se observar modificações de área entre as datas estudadas, onde no período de 1985 até 1992, a área parcialmente degradada da bacia teve o maior decréscimo, passando de 443,56km² para 215,63km², ou em termos percentuais, de 28,31% para 13,76% da área total da bacia. Verifica-se também que para os anos de 1985, 1996 e 2009 houve diminuição da vegetação parcialmente degradada, evidenciando um aumento nas áreas degradadas e fortemente degradadas em relação a área total.

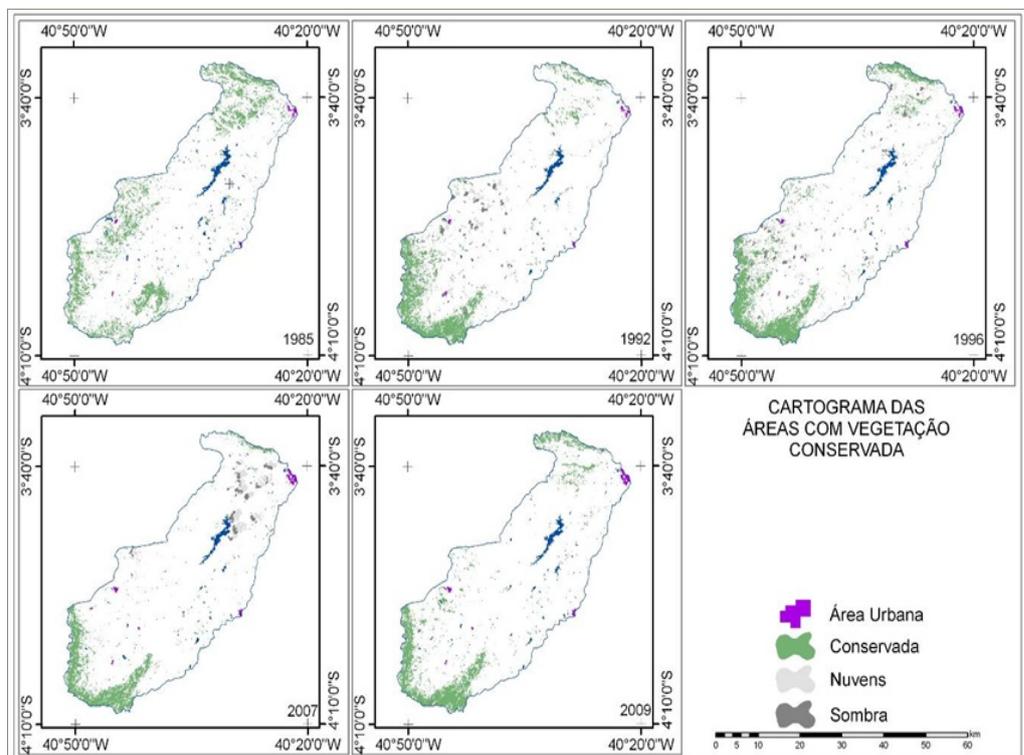


Figura 13 — Cartograma da distribuição do nível de vegetação conservada da Bacia Hidrográfica do rio Jaibas / CE, nos cinco anos estudados.



Figura 14 — Evolução do quantitativo de vegetação parcialmente degradada na área total da bacia.

O cartograma apresentado na figura 15 representa o estado de evolução da vegetação, onde é destacado as alternâncias da vegetação parcialmente degradada nos períodos em estudo.

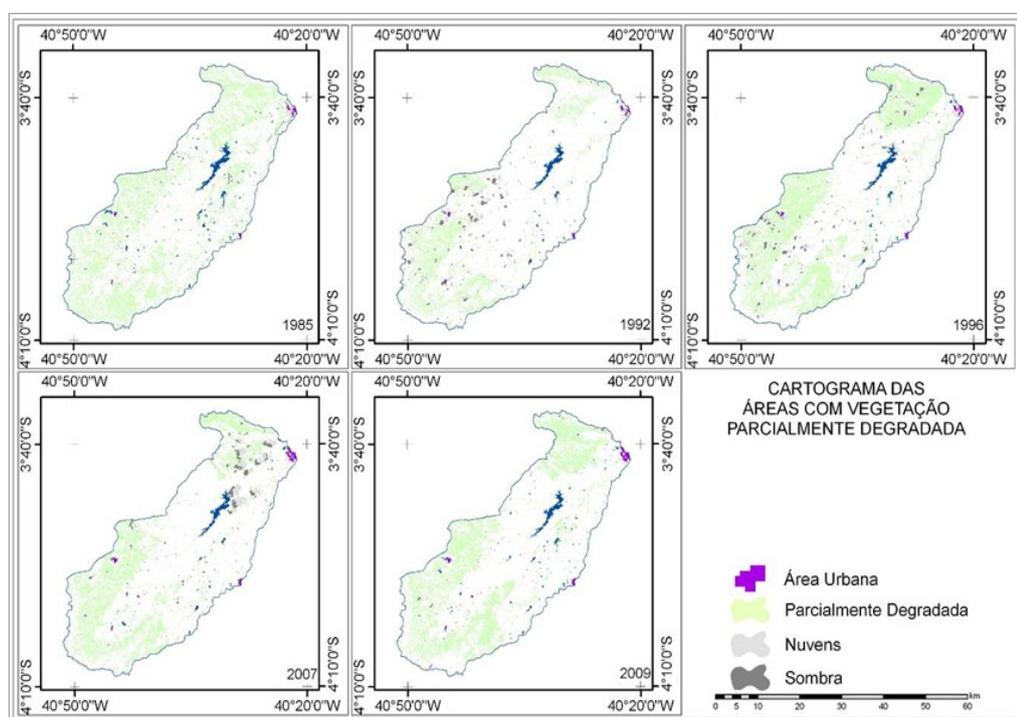


Figura 15 — Cartograma da distribuição do nível de vegetação parcialmente degradada da Bacia Hidrográfica do rio Jaibas / CE, nos cinco anos estudados.

Analisando os resultados dos percentuais de área da vegetação degradada (figura 16), verifica-se que entre as classes mapeadas, no período de 1985 a 1992, a área de vegetação degradada na bacia teve um acréscimo, saltando de 555,31 km² para 634,74 km². No intervalo de 1992 para 1996, houve uma perda de área degradada, saindo de 634,74km² para 426,62km². Já entre o período de 1996 e 2007 ocorreu novamente ganho de área com vegetação degradada, passando de 426,62 km² para 664,88km². Por fim, entre os anos de 2007 e 2009 verifica-se novamente um aumento da área com vegetação degradada, onde a mesma saiu de 664,88km² para 685,41km², representando um aumento de 20,53 km².

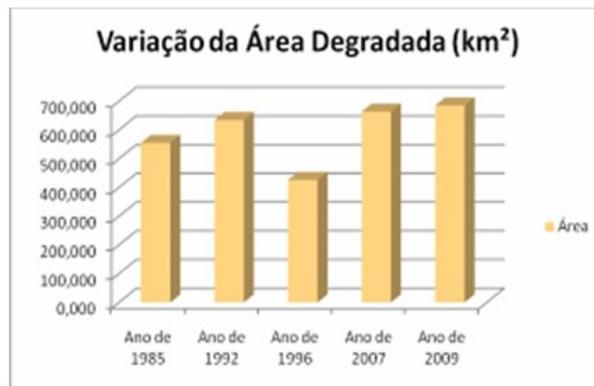


Figura 16 — Evolução do quantitativo de vegetação degradada na área total da bacia.

Na figura 17, percebe-se a alteração nos níveis de degradação da cobertura vegetal, onde a maior parte da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas está classificada no nível degradada, para os anos de 1985, 1992, 1996, 2007 e 2009. Considerando a classificação das imagens de 1985 e 2009, verifica-se que a área degradada passou de 35,44% para 43,74%, representando um ganho de área de aproximadamente 130,10km².

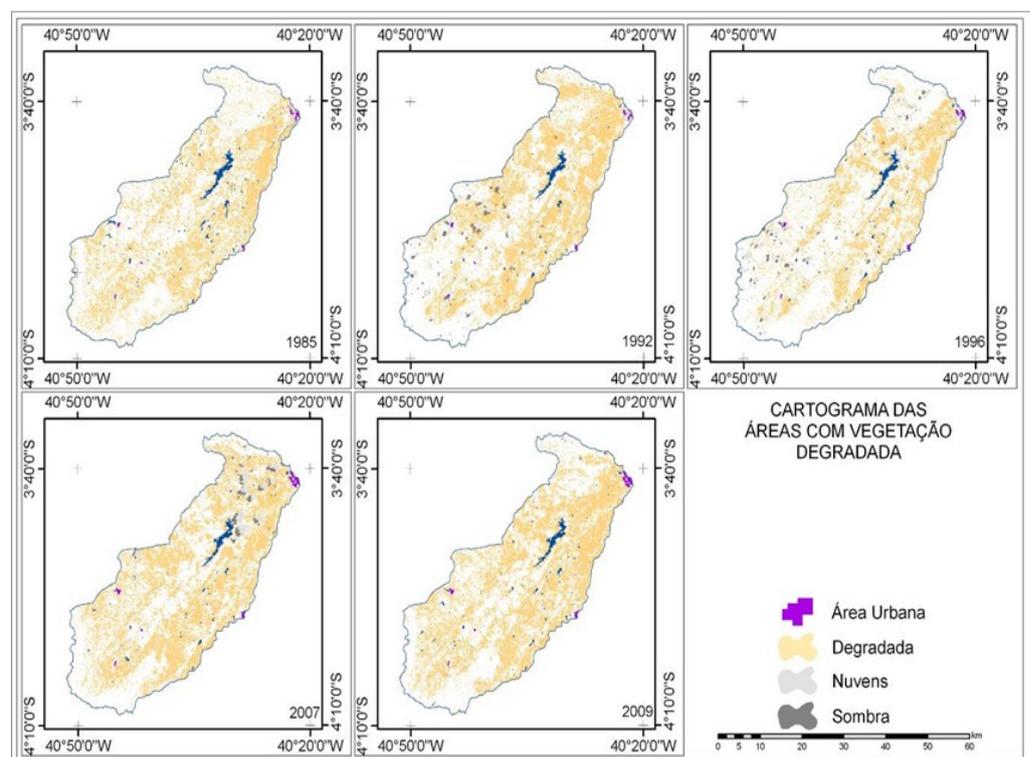


Figura 17 — Cartograma da distribuição do nível de vegetação degradada da Bacia Hidrográfica do rio Jaibas / CE, nos cinco anos estudados.

Observando a variação da área com a vegetação classificada como fortemente degradada (Figura 18), constata-se um aumento de área entre os anos de 1985 e 1996, após esta data teve-se um declínio da área com vegetação fortemente degradada, alcançando em 2009 o valor igual a 168,91km².

A Figura 19 exhibe o cartograma com a distribuição do nível de vegetação fortemente degradada para os anos estudados. Mesmo constatando um declínio do quantitativo da área

classificada como vegetação fortemente degradada, verifica-se um aumento da degradação da vegetação da bacia, pois teve-se uma evolução de desgaste da vegetação, passando do nível fortemente degradado para solo exposto.



Figura 18 — Evolução do quantitativo de vegetação fortemente degradada

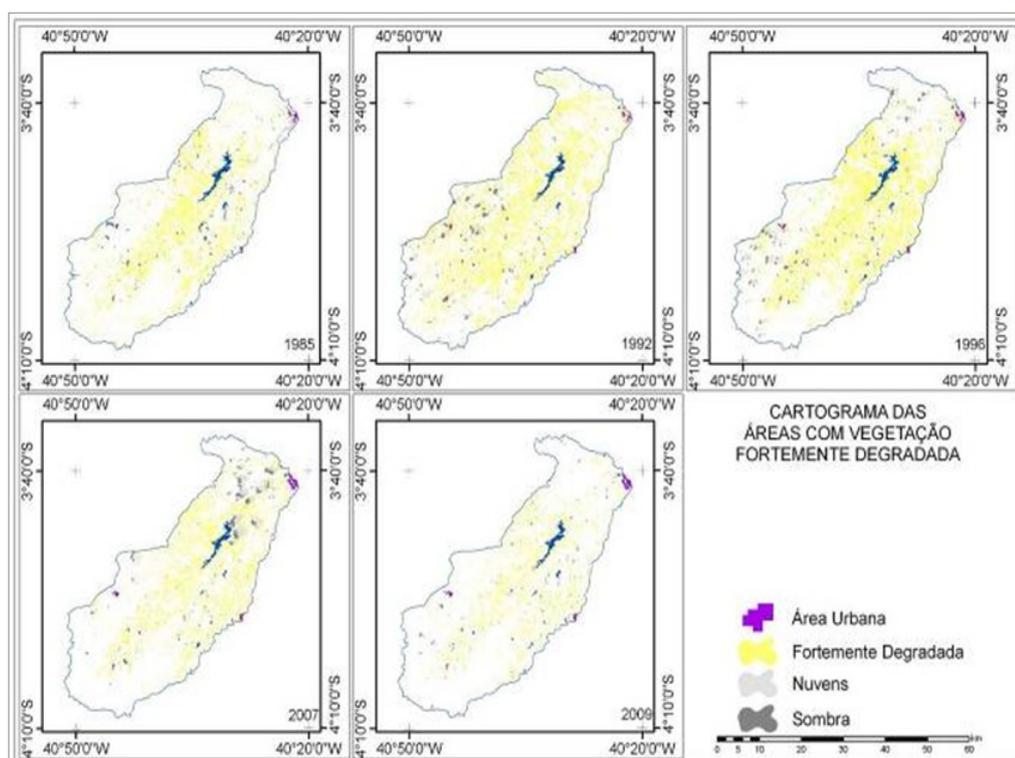


Figura 19 — Cartograma de distribuição do nível de vegetação fortemente degradada da bacia hidrográfica do rio Jaibas / CE, nos cinco anos estudados.

Analisando a variação da área da bacia com solo exposto (figura 20), constata-se um aumento das áreas sem vegetação. No intervalo de 1985 para 1992, passou-se de 64,15km² para 79,67km². No período de 1992 a 1996, foi o único que registrou diminuição do quantitativo dos solos expostos, passando de 79,67km² para 68,36km². Posteriormente a esse período, teve-se apenas aumento de áreas com solo exposto, onde de 1996 para 2007 saiu de 68,36km² para 155,58km², tendo nesse período um aumento de mais de 100%. Entre os anos de 2007 e 2009 verificou-se novamente um aumento da área de solo exposto, saindo de 155,58km² para 171,25 km².



Figura 20 — Evolução do quantitativo de solo exposto.

Observando as imagens de satélite para os anos de 1985 e 2009, assim como os resultados da classificação, pode-se avaliar a quantidade de perda de vegetação e o aumento de área de solo exposto no período estudado.

Verifica-se que o percentual de área com solo exposto saltou de 4,09% para 10,93%, significando um aumento de aproximadamente 107,10km² e um percentual relativo da ordem de 167,24%. Na figura 21 pode-se avaliar os cartogramas destacando o crescimento das áreas com solo exposto nos anos estudados.

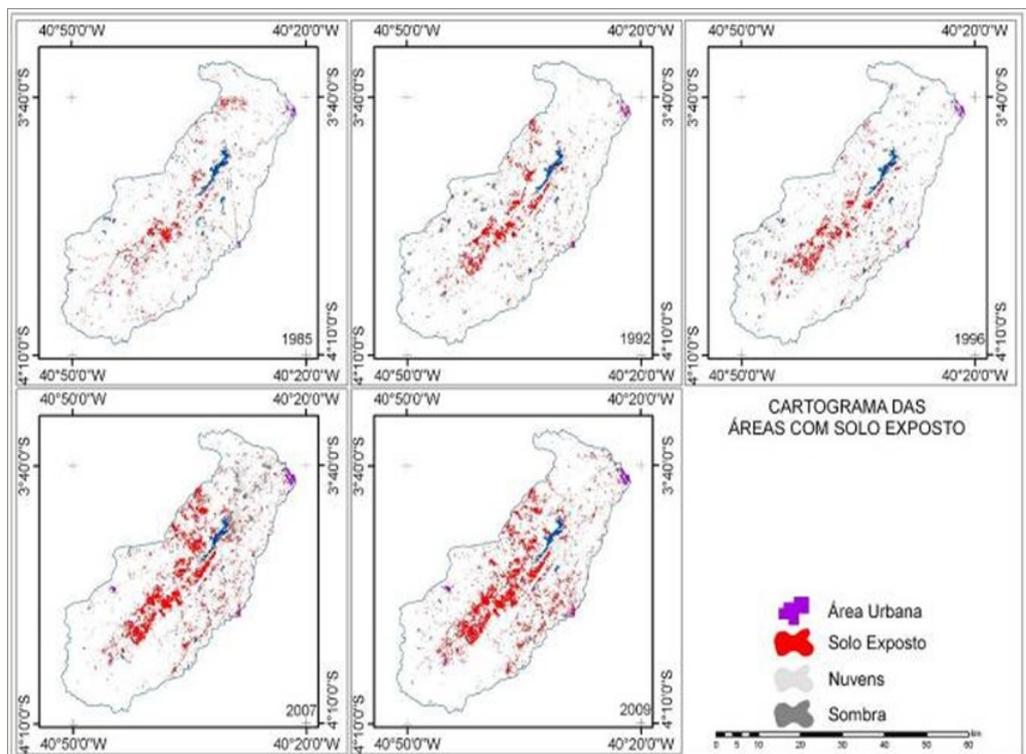


Figura 21 — Cartograma da distribuição do nível de solo exposto da bacia hidrográfica do rio Jaibas / CE, nos cinco anos estudados.

A última etapa da pesquisa consistiu na aplicação da técnica de álgebra de mapas objetivando a verificação sobre que tipos de vegetação foi maior o avanço de solos expostos, considerando os extremos dos anos em estudo, 1985 e 2009.

Verificou-se que a classe de vegetação conservada foi a que apresentou menor perda de área para solo exposto, com uma redução de 1,8 km². Por sua vez, a vegetação parcialmente degradada teve perda de 20,81 km² para solo exposto, a vegetação degradada perdeu 38,35 km² e a vegetação fortemente degradada teve perda de 79,35 km² para solo exposto, constatando-se a transição das áreas com vegetação degradadas para solo exposto.

Conclusões

A disponibilidade de dados geoespaciais, imagens de sensoriamento remoto e softwares de geoprocessamento (SPRING), possibilitaram a integração dos dados e análise do uso e monitoramento dos recursos naturais e, principalmente, da cobertura vegetal da bacia.

As técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens possibilitaram uma precisão na identificação e monitoramento da vegetação, onde foi possível avaliar de forma bastante eficaz a evolução e o estado de degradação da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam uma tendência de crescimento nas áreas de solos expostos, havendo, conseqüentemente, uma redução das demais classes de vegetação encontradas na bacia hidrográfica, principalmente de vegetação conservada. O período de estudo evidencia a retirada desordenada da vegetação, não somente nas áreas agricultáveis, como também em áreas que não são utilizadas para agricultura e pastoreio, não havendo, nenhuma recuperação de áreas degradadas.

Pode-se constatar que ao longo dos 24 anos (1985 – 2009) houve um aumento de aproximadamente 167% de área com solo exposto na bacia hidrográfica do rio Jaibaras, onde constata-se as crescentes pressões sobre os recursos naturais e, principalmente, sobre a vegetação.

Os resultados apontam para a necessidade de uma melhor gestão e controle dos recursos naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras. Desta forma, recomenda-se uma implantação mais efetiva da Política Nacional de Recursos Hídricos, e para a conservação da vegetação um maior controle e respeito ao Código Florestal, no intuito de se ter uma melhor gestão dos recursos naturais da bacia, possibilitando a recuperação das áreas degradadas e o estabelecimento da conservação da cobertura vegetal.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE pelo apoio e incentivos dados ao desenvolvimento do trabalho.

Referências

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. **Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR.** Rev. Caminhos da Geografia, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.

BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

FERNANDES, A. **Temas Fitogeográficos**. Fortaleza: Stylus Comunicação, 1990.

_____. **Fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998.

FIGUEREIDO. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: IPLANCE, 1997.

FIRMINO, J. L. Da N. **Análise comparativa preliminar do Índice de Vegetação derivado do Satélite Landsat - 5 para a cidade de São João do Rio do Peixe na Paraíba com a precipitação**. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril de 2009, INPE, p. 3801-3807.

GOMES, D. D. M. **Análise da Degradação da Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas / Ce por Meio de Ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. 2010. Monografia (Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza - CE

GOMES, D. D. M.. **Geoprocessamento Aplicado a Análise da Vulnerabilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Jaibas – Ceará**. 2011. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE.

INPE - Brasil, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Catálogo de Imagens**. São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em abril, 2009.

INPE - Brasil, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Processamento Digital de Imagens**. São José dos Campos, 2003. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/dpi_com.htm Acesso em fevereiro, 2010.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. UNIDERP, Brochura, 1ª Ed., 2006.

MEDEIROS, C. N. de. **Geoprocessamento na Gestão Municipal: Mapeamento do Meio Físico e Socioeconômico do Município de Parnamirim - RN**. 2004. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN.

MEDEIROS, C. N. de; PETTA, R. A.; DUARTE, C. R. **Estudo do meio físico para avaliação da vulnerabilidade à ocupação humana do município de Parnamirim (RN), utilizando técnicas de geoprocessamento**. Revista Geociências, ano 24, n. 3. p. 239-253, out. 2005. ISBN: 0101-9082.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. Parêntese, 1ª Ed., 2007.

TRICART, J.. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1977.

XAVIER, A. C.; Vettorazzi, C. A. **Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed**. International Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 9, p.1661–1672, 2004.

Correspondência

Daniel Dantas Moreira Gomes —

E- mail: daniel.dm.gomes@gmail.com

Recebido em 18 de março de 2011.

Revisado pelo autor em 26 de agosto de 2011.

Aprovado em 09 de setembro de 2011.