

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MANEJO E CONSERVAÇÃO DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS NO SEMIÁRIDO**

**ANTHONY RAFAEL SOARES MAIA**

**INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA NO LEVANTAMENTO DO USO  
E COBERTURA DO SOLO, COM USO DE GEOTECNOLOGIAS, EM UMA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO**

**FORTALEZA – CEARÁ**

**2015**

ANTHONY RAFAEL SOARES MAIA

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA NO LEVANTAMENTO DO USO E  
COBERTURA DO SOLO, COM USO DE GEOTECNOLOGIAS, EM UMA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Eunice Maia de Andrade, Ph. D. – UFC.

Co-orientador: Dr. Fernando Bezerra Lopes – UFC.

Fortaleza

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

---

M184i      Maia, Anthony Rafael Soares.  
              Influência da sazonalidade climática no levantamento do uso e cobertura do solo, com uso de  
              geotecnologias, em uma bacia hidrográfica do semiárido / Anthony Rafael Soares Maia. – 2015.  
              68 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,  
Fortaleza, 2015.

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientação: Profa. Dra. Eunice Maria de Andrade.

Coorientador: Dr. Fernando Bezerra Lopes.

1. Geotecnologia. 2. Solo – Uso. 3. Bacias hidrográficas. 4. Sistemas de informação geográfica. I.  
Título.

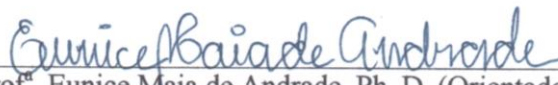
ANTHONY RAFAEL SOARES MAIA

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA NO LEVANTAMENTO DO USO E  
COBERTURA DO SOLO, COM USO DE GEOTECNOLOGIAS, EM UMA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: 27/03/2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Eunice Maia de Andrade, Ph. D. (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará – UFC



Dra. Ana Célia Maia Meireles (Conselheira)  
Universidade Federal do Ceará – UFC



Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho (Conselheiro)  
Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA

A Deus, Pai de infinita misericórdia e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

À DEUS, pelo dom da vida, e por me conceder a fé, força e sabedoria necessárias para que eu continue a trilhar o meu caminho.

Ao nosso mestre Jesus Cristo, por nos ensinar o verdadeiro caminho da paz.

Aos meus pais Francisco Canindé e Francisca, meus irmãos, meu sobrinho, meus tios e primos pelo amor, apoio e confiança a mim dedicados.

À Luciana por ser essa pessoa muito especial na minha vida, por estar sempre presente, pelo companheirismo, compreensão, incentivo e amor.

À Universidade Federal do Ceará através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida à realização do curso.

A todos do Laboratório de Análise de Água, Solo e Tecido Vegetal (LABAAS) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Campus Iguatu, pelo apoio dado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pela concessão dos recursos financeiros indispensáveis à realização do curso.

À professora Doutora Eunice Maia de Andrade pela importante orientação, pelos conhecimentos transmitidos, atenção, paciência e pelo voto de confiança que ajudaram no enriquecimento desse trabalho.

Ao Doutor Fernando Lopes pelos conselhos e ajuda sempre ofertada ao longo do curso.

À banca examinadora Dra. Ana Célia Maia Meireles e Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho que muito contribuíram na avaliação e melhoria deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC: George Mamede, Pedro Medeiros, Luiz Alberto, Marcus Bezerra, José Carlos, Adunias dos Santos e Julien Burte, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos que, com certeza, contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Aos professores de outros departamentos da Universidade Federal do Ceará, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

A todos os colegas de trabalho da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH: Júnior, Humberto, Hélder, Ewerton, Pedro, André, Edna, Luizinha, Assis e Rean, pelo apoio e incentivo a conclusão desse trabalho.

Aos amigos do Grupo de pesquisa e extensão Manejo de Água e Solo no Semiárido – MASSA: Professor Omar, Luiz Carlos (Luizinho), Andréa, Josivan, Jairo, Júlio Cesar, Lécio, Diego, Paulo, Cleiton, Deodato, Ramon, Elinalda, Meri Doroteu, Kássia Crislayne, Marcos Amauri, Leilson, Júnior, Eveline e todos os outros.

A todos os amigos do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFC que de alguma forma me ajudaram nessa conquista: Eder Ramon, Socorro, Débora Barboza, Rafael Landim, Yuri Castro, Renata Nayara, Neyson Braz, Alan Diniz, Erialdo, Hernandez, Cicero, Christine, Gabriel, Kenya, Krishna, Ronaldo, Felipe, Eliakim, Efraim, Leandro, Mário e todos os outros.

Aos colegas da disciplina Sistemas de Informação Geográfica do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC: Daniel, Tibério, Isabel, Fernanda e Ricardo.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC.

“Espera no Senhor, anima-te,  
e ele fortalecerá o teu coração;  
espera, pois, no Senhor.”

Salmos 27:14



## RESUMO

MAIA, Anthony Rafael Soares, Universidade Federal do Ceará. Março de 2015. **Influência da sazonalidade climática no levantamento do uso e cobertura do solo, com uso de geotecnologias, em uma bacia hidrográfica do semiárido.** Orientadora: Eunice Maia de Andrade; Co-orientador: Fernando Bezerra Lopes.

A dinâmica do uso e cobertura do solo de bacias hidrográficas do semiárido brasileiro é influenciada não apenas pela ação humana nessas áreas, mas também pela sazonalidade climática dessa região. Verifica-se a necessidade do conhecimento da relação existente entre o levantamento do uso e cobertura do solo a partir de técnicas de sensoriamento remoto e a sazonalidade climática de regiões semiáridas. Dessa forma, objetivou-se com este estudo mapear e classificar o uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do açude Orós através de técnicas de sensoriamento remoto e identificar qual a influência exercida pelo clima nas variações das áreas das classes encontradas ao longo do período objeto de estudo. O açude Orós está localizado no sudoeste do estado do Ceará, e sua bacia possui uma área de 24.900 km<sup>2</sup>. O levantamento de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Açude Orós (BHAO) foi realizado através de classificação pelo método MAXVER (Máxima Verossimilhança) das imagens dos satélites LANDSAT 5 - TM e LANDSAT 8 - OLI. As imagens LANDSAT 5 dos anos de 2003, 2005 e 2008 foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), já a imagem LANDSAT 8 do ano de 2013 foi obtida junto ao USGS (United States Geological Survey). Foram selecionadas imagens do segundo semestre de cada ano de estudo por conta da menor presença de nuvens, bem como para que dessa forma fosse minimizado o efeito das precipitações pluviométricas sobre a vegetação da região. As áreas das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do açude Orós apresentaram uma dinâmica influenciada não apenas pela ação humana na área, mas também fatores como o clima, topografia e a fisiologia da vegetação, mais precisamente a caducifólia. Anos com uma elevada precipitação pluviométrica favoreceram classes como Caatinga Rala e Caatinga Densa, sendo observado o contrário em anos considerados secos como 2013, onde as áreas da classe Antropizada obtiveram um aumento considerável em suas áreas. Observou-se que as modificações ocorridas durante o período analisado não são resultantes apenas das intervenções humanas no ambiente, mas também dos fatores climáticos. Assim deve-se levar em conta também a época em que as imagens foram geradas para que se evite ou amenize a influência do clima na classificação das imagens. A caducifólia, característica da vegetação Caatinga, provoca mudanças nas áreas devido a alterações na vegetação da região. Com a queda das folhas na época seca do ano essas áreas passam a ter a resposta espectral de áreas com características da classe Antropizada. Regiões mais elevadas favoreceram a presença da classe Caatinga Densa, devido ao microclima e a maior dificuldade que essas áreas apresentam à ação humana. Apesar das técnicas de sensoriamento remoto se apresentarem como uma importante ferramenta por facilitar o levantamento das classes de uso e cobertura do solo, entende-se que em regiões onde a vegetação apresenta características de caducifólia (Caatinga), deve-se levar em conta a sazonalidade climática, pois esse fator influencia diretamente o levantamento das classes de uso e cobertura do solo presentes nas regiões da Caatinga.

**Palavras-chave:** Uso e cobertura do solo. Sazonalidade Climática. Geotecnologias.

## ABSTRACT

MAIA, Anthony Rafael Soares, Federal University in Ceará. March 2015. **Influence of climatic seasonality in the survey of land use/cover, using geotechnologies, in a semiarid watershed.** Advisor: Eunice Maia de Andrade; Co advisor: Fernando Bezerra Lopes.

The dynamic of land use/cover in Brazilian semiarid watershed is under influence not only by human actions in these areas, but also by the climatic seasonality in this region. It is necessary know the relationship between the mapping of the use and land cover using remote sensing techniques and the climate seasonality of semiarid regions. Thus, the aim of this study was to use remote sensing techniques to map and classify the land use/cover in the catchment of the Orós reservoir and identify the influence of the climate on the variations of type of classes mapped during the studied period. The Orós reservoir is located in the Southwestern of the state of Ceará, Brazil, and its catchment has 24,900 km<sup>2</sup>. The survey of land use/cover of Catchment in Orós Reservoir (BHAO) was performed by MAXVER method (Maximum Likelihood) classification image objects using satellites image Landsat 5 - TM and Landsat 8 - OLI. The LANDSAT 5 images to 2003, 2005 and 2008 were obtained from the National Institute of Spatial Research (INPE), and the Landsat 8 image to 2013 was obtained by the United States Geological Survey (USGS). Satellite images from the second semester period to each year were used to avoid clouds and rainfall above the vegetation of the studied area. The classes of land use/cover of the catchment in the Orós reservoir presented a dynamic that is influenced not only by human activity in that region, but they were influenced also by factors such as climate, topography and vegetation physiology, specifically the deciduous. It was observed that in those years that occurred heavy rainfall this factor helped the classes as Caatinga Rala and Caatinga Densa. However in those years named dry like 2013, the areas of the Antropizada class increased. Results showed that the changes occurred during the studied period were caused not only by the humans' actions in that environment but they were caused by climatic factors too. Thus its important analyze the date of the satellite images were obtained. This decrease the action of the climate in the image classify. The deciduous characteristic of Caatinga vegetation, causes changes in the areas due to changes in vegetation of the region. With the leaves falling in dry season these areas present spectral response like the Antropizada class. Higher regions favored the presence of Caatinga Densa class, due to the microclimate and the greatest difficulty that these areas are under to human action. Despite the remote sensing techniques being important tools to help us classify the land use/cover, in regions with deciduous vegetation (Caatinga) it is necessary observe the climatic seasonality, because it has heavy influence in the type of land use/cover presented in regions like Caatinga.

**Keywords:** Land use/cover. Climate seasonality. Geotechnologies.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações ortogonais dos campos magnético (M) e elétrico (E).....	25
<b>Figura 2</b> - Cronologia das missões Landsat.....	27
<b>Figura 3</b> - Localização da bacia hidrográfica do açude Orós (BHAO) .....	31
<b>Figura 4</b> - Distribuição dos postos pluviométricos na BHAO.....	32
<b>Figura 5</b> - Principais rios e riachos da BHAO .....	33
<b>Figura 6</b> - Elevação da BHAO.....	34
<b>Figura 7</b> - Cenas Landsat que abrangem a BHAO .....	35
<b>Figura 8</b> - Distribuição da precipitação pluviométrica no período de estudo sendo destacado o período chuvoso .....	43
<b>Figura 9</b> - Mapas de classificação do uso e cobertura do solo da BHAO .....	44
<b>Figura 10</b> - Altitude da classe Caatinga Densa ao longo do período de estudo .....	52
<b>Figura 11</b> - Comportamento da área de Mata Ciliar na BHAO para o período de 2003 – 2013 .....	53
<b>Figura 12</b> - Área total da classe Vazante para cada ano do período de estudo.....	55
<b>Figura 13</b> - Comportamento das populações urbana e rural na BHAO para o período 2000 – 2010 .....	56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Datas das missões Landsat .....	26
<b>Tabela 2</b> - Informações das imagens selecionadas .....	36
<b>Tabela 3</b> - Comportamento das precipitações pluviométricas nos três meses antecedentes ao mês de geração das imagens.....	36
<b>Tabela 4</b> - Comprimento de onda das bandas selecionadas para a composição das imagens .....	37
<b>Tabela 5</b> - Padrão apresentado das Classes de uso e cobertura do solo da BHAO na composição RGB .....	40
<b>Tabela 6</b> - Qualidade das classificações de acordo com o índice Kappa.....	41
<b>Tabela 7</b> - Valores de precipitação pluviométrica total anual, total do período chuvoso e percentagem precipitação total incidente no período chuvoso na BHAO .....	42
<b>Tabela 8</b> - Áreas totais (km <sup>2</sup> ) e Coeficiente de Variação (%) para cada classe de uso e cobertura do solo da BHAO .....	46
<b>Tabela 9</b> - Percentual da área total ocupada pelas classes de uso e cobertura do solo da BHAO e variação percentual entre os anos do estudo.....	48
<b>Tabela 10</b> - Valores de Acurácia e Coeficiente Kappa obtidos das classificações.....	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>HIPÓTESE E OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Hipótese .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>16</b>
2.2.1	Objetivo geral .....	16
2.2.2	Objetivos específicos.....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>A bacia hidrográfica como unidade de planejamento .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Uso e cobertura do solo em uma bacia hidrográfica .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>O bioma caatinga.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Geotecnologias aplicadas nos recursos naturais.....</b>	<b>22</b>
3.4.1	Sistemas de informação geográfica (SIG).....	23
3.4.2	Sensoriamento remoto .....	24
3.4.2.1	Série de satélites Landsat .....	26
<b>3.5</b>	<b>Sazonalidade climática na região semiárida .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Localização geográfica e caracterização geral.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Dados de sensoriamento remoto .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Processamento e análise das imagens .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4</b>	<b>Classificação supervisionada do uso e cobertura do solo .....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1</b>	<b>Sazonalidade climática da BHAO.....</b>	<b>42</b>
<b>5.2</b>	<b>Uso e cobertura do solo da BHAO .....</b>	<b>44</b>
<b>5.3</b>	<b>Exatidão das classificações .....</b>	<b>57</b>
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o modelo de desenvolvimento adotado na região semiárida do Brasil têm resultado em aumentos da pressão sobre os recursos naturais pelas mudanças no uso e cobertura do solo nessa região. Atividades como desmatamento para exploração madeireira e incorporação de novas áreas agrícolas, agricultura realizada de forma intensiva, o superpastoreio praticado pela pecuária, além da expansão dos centros urbanos são exemplos de intervenções humanas, que quando realizadas de formas desordenadas, geram impactos negativos seja sobre uma área isolada, seja na unidade de planejamento, a bacia hidrográfica.

A Bacia Hidrográfica do Açude Orós (BHAO) está inserida na maior bacia hidrográfica do Estado do Ceará, a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe. Nesse sentido, varias atividades são realizadas nessa região hidrográfica, sendo a mesma influenciada por diversas formas de uso e cobertura do solo, que muitas vezes favorecem o processo de degradação ambiental. Entre as principais atividades realizadas na bacia, pode-se destacar a agricultura, a pecuária e a extração de madeira para os mais diversos fins. Essas ações geram efeitos negativos sobre o ambiente, como destruição da biodiversidade, degradação e erosão dos solos, enchentes e assoreamento dos corpos hídricos, dentre outros.

Todas essas atividades modificam de forma desordenada a paisagem dessa região semiárida. Devido ao desenvolvimento das geotecnologias, o levantamento do uso e cobertura do solo de determinadas áreas se tornou possível, independente da localização ou do tamanho dessas áreas. As geotecnologias se apresentam dessa forma, como uma importante ferramenta no auxílio dos mais diversos estudos sobre as modificações realizadas pelo homem no ambiente. Assim, com o uso de geotecnologias, a identificação de padrões de uso e cobertura do solo se torna mais evidente.

Porém, observa-se que essas mudanças não ocorrem apenas em função da ação humana na região. A vegetação do bioma Caatinga apresenta uma característica muito peculiar, a caducifolia. Essa característica faz com que as plantas do bioma percam a sua folhagem, o que ocorre geralmente entre o final da estação chuvosa e início da estação seca. A queda das folhas deve ser entendida como uma adaptação ao clima da região, para que assim essa vegetação possa suportar o período com maior déficit hídrico do ano, resultando a queda das folhas em uma mudança drástica na paisagem da região.

Por outro lado, o regime de precipitações pluviométricas também influencia a cobertura vegetal. A sazonalidade climática da região, com uma má distribuição das chuvas

tanto no tempo, como no espaço, além da ocorrência de grande variação do total precipitado entre os anos, faz desse bioma muito resistente. A ocorrência de chuvas proporcionará uma rápida recomposição dessa vegetação, antes seca e senescente. Pelo fato de encontrar-se inserida na região semiárida do estado do Ceará, a Bacia Hidrográfica do Açude Orós apresenta as características inerentes a essa região, como por exemplo, o regime irregular de precipitações pluviométricas e altas taxas de evaporação.

Diante do exposto, o maior conhecimento e compreensão das mudanças no uso e cobertura do solo do bioma Caatinga, assim como dos fatores que os influenciam, irá favorecer a conservação desse bioma, bem como o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis. Outro ponto que se deve levar em consideração é o monitoramento dessas mudanças, que a partir desta, a tomada de decisão seja realizada de forma mais correta, amenizando todos os impactos negativos ocorridos no meio ambiente.

## **2 HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 Hipótese**

A sazonalidade climática de regiões semiáridas pode influenciar a análise da dinâmica espaço temporal do uso e cobertura do solo, levantados a partir do uso de geotecnologias, em uma bacia hidrográfica do semiárido.

### **2.2 Objetivos**

#### **2.2.1 Objetivo geral**

Levantar as classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do açude Orós, assim como identificar e analisar a influência que a sazonalidade climática da região exerce nessas classes.

#### **2.2.2 Objetivos específicos**

Identificar e classificar o uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Açude Orós (BHAO) para o período de estudo;

Verificar em quais classes de uso e cobertura do solo a sazonalidade climática da região apresenta maior influência.



### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 A bacia hidrográfica como unidade de planejamento**

Os recursos naturais são essenciais para a produção de alimentos, para o desenvolvimento socioeconômico e para os meios de vida sustentáveis. A grande pressão exercida sobre esses recursos aumentou em muitas regiões por conta da crescente procura por alimentos, fibras e energia, bem como da perda e degradação dos solos produtivos (FAO, 2010). Assim, a utilização desses recursos de forma mais eficiente e sustentável se coloca como um grande desafio a ser superado.

É importante notar que a forma como ocorre o uso dos recursos naturais é determinante no processo de desenvolvimento sustentável. Sendo fundamental e indispensável que a sociedade incorpore a visão de que os recursos naturais só estarão disponíveis para a atual e as futuras gerações se utilizados de modo racional, compatível com a preservação e os tempos de regeneração e recuperação dos recursos que forem utilizados (NOVAES; RIBAS; NOVAES, 2000). Sendo a sociedade atual dinâmica e cambiante, para atender as suas necessidades faz uso dos recursos naturais de diferentes maneiras, produzindo efeitos sobre o ambiente, como uma reação do ecossistema à ação do homem no desenvolvimento de suas atividades diárias. As consequências do uso de recursos naturais podem ser sentidas à nível local, regional ou global, dependendo de sua intensidade e duração (ORTEGA; CARVALHO, 2013).

O rápido esgotamento dos recursos e a crescente demanda das populações humanas impactam diretamente a estrutura e função das bacias hidrográficas, reduzindo assim a sua capacidade de sustentação (RANDHIR; TSVETKOVA, 2011). As bacias hidrográficas representam a área de captação de um recurso natural fundamental para a vida, a água. Logo este recurso se apresenta como um forte atrativo para os diversos tipos de atividades como: irrigação, lazer, navegação, energia, uso doméstico, moradia dentre outras. Nesta perspectiva, a disponibilidade da água, enquanto recurso propicia a ocupação da bacia hidrográfica praticamente por toda sua extensão territorial, fato que em geral, se define por taxas de densidades populacionais elevadas (ALBUQUERQUE, 2012).

Nesse contexto, sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que no seu exutório estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é

consequência direta das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para lá convergem (PORTO; PORTO, 2008).

Dentre as varias definições de bacia hidrográfica encontradas na literatura, Villela e Matos (1975) definem bacia hidrográfica como uma área definida topograficamente, drenada por um curso ou sistema interligado de cursos onde toda a vazão efluente nela captada é descarregada em uma única saída, o seu exutório. Por conta dessas características é que a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento tem se apresentado como uma proposta eficaz e racional, por focar o seu uso sustentável, além de possibilitar a viabilidade do planejamento das atividades realizadas nela.

Entre os problemas mais comuns encontrados em bacias hidrográficas se destacam os relacionados à fatores socioeconômicos, técnicos institucionais e naturais. Os socioeconômicos estão relacionados à pobreza na zona rural, que causa a destruição dos recursos naturais da região; uso inadequado da terra, resultando na degradação das terras e outros recursos da bacia; e desmatamento, que aumenta os riscos de inundações sazonais e secas a jusante (FAO, 1990). A deficiência no planejamento e execução de atividades de desenvolvimento (estradas, habitação, mineração, etc.) que prejudicam os cursos d'água e poluem o ambiente natural estão ligados aos técnicos institucionais. Já os fatores naturais estão relacionados a catástrofes naturais (tempestades, deslizamentos de terra, incêndios, etc.) que danificam as condições naturais da bacia; e erosão natural ou acelerada do solo, que causa a deposição de sedimentos nos reservatórios, canais de irrigação e outras instalações públicas (FAO, 1990).

Antes da tomada de qualquer ação é necessário compreender que, as bacias hidrográficas na condição de unidades de representação socioespacial, ultrapassam o conceito da delimitação física e configuram-se como espaços socialmente construídos, onde a visualização dos impactos ambientais é facilmente identificada (ALBUQUERQUE, 2012). A utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento busca atingir a eficácia da integração de um conjunto de práticas de manejo do solo e da água, com vistas à manutenção do equilíbrio dos recursos ambientais, de modo a proporcionar um desenvolvimento adequado e sustentável de todas as atividades realizadas na bacia (FROTA, 2012).

Dessa forma o planejamento e a gestão de bacias hidrográficas estão sendo cada vez mais enfocados nas pesquisas técnico-científicas. O monitoramento ambiental, em bacias hidrográficas, procura caracterizar aspectos relevantes que permitam diagnosticar as mudanças que ocorrem no uso do solo, tornando possível avaliar os efeitos das atividades humanas exercidas nas bacias hidrográficas sobre os ecossistemas (QUEIROZ *et al.*, 2010).

### 3.2 Uso e cobertura do solo em uma bacia hidrográfica

A atual forma de uso e cobertura do solo tem gerado impactos em diferentes níveis no ambiente natural (SANTOS; SANTOS, 2010). O aumento da poluição, a impermeabilização e erosão do solo, a poluição de corpos hídricos por efluentes tóxicos, a devastação e fragmentação de áreas florestadas são alguns exemplos destes impactos danosos ao ambiente.

Embora as práticas de uso da terra possam variar muito em todo o mundo, o seu resultado final é geralmente o mesmo: a obtenção de recursos naturais para as necessidades humanas imediatas, muitas vezes à custa da degradação das condições ambientais (FOLEY *et al.*, 2005). Nesse sentido, as mudanças ocorridas nos ecossistemas terrestres estão fortemente associadas aos processos de desenvolvimento socioeconômico, principalmente em países subdesenvolvidos, onde não se encontram planejamentos para a ocupação do território, nem projetos e estudos para explorar de maneira sustentável os recursos naturais (ARRAES; ANDRADE; SILVA, 2012).

Dessa forma, os estudos que correlacionam a caracterização da cobertura da terra e a análise de seus diferentes usos e manejos são importantes ferramentas para a compreensão da intensidade das mudanças e o tipo das mudanças em determinadas áreas (SEABRA; CRUZ, 2013).

Assim as mudanças no uso e cobertura da terra estão ligadas diretamente ao desenvolvimento econômico, crescimento da população, avanço tecnológico e alterações ambientais, podendo ser mudanças de áreas ou mudanças de intensidade de uso (HOUGHTON, 1994).

O uso do solo pode ser definido como a sequência de operações realizadas com o objetivo de obter produtos e serviços a partir da terra, assim como pelas intervenções realizadas pelos usuários nessas áreas (FAO, 2013). Já a cobertura do solo diz respeito essencialmente a natureza dos recursos encontrados em uma determinada área como, por exemplo, florestas, corpos d'água, rocha nua, dentre outros (EEA, 1994).

Com a crescente pressão exercida sobre os recursos naturais, o levantamento do uso e cobertura da terra é uma ação importante para analisar a expansão urbana e rural, bem como para um melhor planejamento e organização da ocupação de uma determinada área (MARCHESAN *et al.*, 2013). Nesse sentido Alemayehu *et al.* (2009) destacam que a compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra de uma determinada região desempenha

um importante papel para que sejam tomadas medidas corretivas sobre a terra, favorecendo dessa forma o seu uso sustentável.

Portanto, além de fornecer as informações necessárias para o reconhecimento da estrutura da paisagem, da organização espacial dos elementos que a compõem e da análise das pressões socioeconômicas atuais, a evolução do uso e cobertura da terra possibilita a compreensão da intensidade das mudanças e o período em que elas ocorreram; permite a compreensão de suas estruturas no passado; e, além disso, torna viável a determinação dos vetores e tendências das pressões sobre os espaços naturais (SEABRA; CRUZ, 2013).

Assim a proteção dos recursos naturais exigem informações sobre a dinâmica do sistema, particularmente a avaliação das interações espaciais e temporais entre os componentes das bacias hidrográficas (RANDHIR; TSVETKOVA, 2011). Jansen e Di Gregorio (2002) consideram que o entendimento das interações entre uso e cobertura do solo e suas aparições espaciais e temporais se torna fundamental para a compreensão das mudanças ocorridas em determinada área.

Nesse sentido, a eliminação sistemática da cobertura vegetal e o uso indevido das terras têm acarretado graves problemas ambientais no semiárido nordestino, entre os quais se destacam a redução da biodiversidade, a degradação dos solos, o comprometimento dos sistemas produtivos e a desertificação de extensas áreas na maioria dos Estados que compõem a região (SILVA; LOPES; SILVA, 2012).

### **3.3 O bioma Caatinga**

Bioma Caatinga, Domínio das Caatingas e Província das Caatingas são denominações encontradas na literatura para nomear essa grande região ecológica dominada por esta vegetação (CASTRO; CAVALCANTE, 2010).

O bioma Caatinga está localizado no semiárido nordestino e constitui uma extensa área de terras no interior da região Nordeste, marcada pelo clima tropical semiárido (BRASILEIRO, 2009). Esse bioma, exclusivamente brasileiro, ocupa uma área de 844.453 km<sup>2</sup>, aproximadamente 11% do território nacional, além de abrigar 27 milhões de pessoas (MMA, 2015).

As plantas e animais da Caatinga apresentam propriedades diversas que lhe permitem viver em condições desfavoráveis. Além disso, o conjunto das interações entre eles é adaptado de tal maneira que o total das plantas, animais e suas relações formam um bioma especial e único no planeta (MAIA, 2012).

A vegetação da Caatinga é composta por arbustos e pequenas árvores, normalmente espinhosas e caducifólias, que perdem suas folhas no início do período seco. As plantas anuais, cactos, bromélias e um componente herbáceo (composta por gramíneas e dicotiledôneas) são outros complementos da composição botânica deste bioma (SANTOS *et al.*, 2010). Essa vegetação é constantemente submetida a estresses ambientais e deve desenvolver diferentes estratégias de sobrevivência para competir pelos recursos hídricos limitados presentes na região (DOMBROSKI *et al.*, 2011).

Dos grandes domínios florísticos-vegetacionais brasileiros, a Caatinga é um dos mais desconhecidos, com variações fisionômicas e florísticas resultantes da evolução e da adaptação aos fatores climáticos da região, em especial aos baixos valores de precipitação (ALMEIDA *et al.*, 2014). Nesse sentido, na região semiárida brasileira a vegetação está condicionada ao déficit hídrico relacionado à seca, em decorrência da irregularidade das chuvas. Analisando-se este fator, percebe-se que não é apenas a precipitação que provoca o déficit hídrico, mas também a associação a outros fatores característicos da região, como altas temperaturas associadas à alta intensidade luminosa, que provocam uma demanda evaporativa alta e consequente dessecação do solo (TROVÃO *et al.*, 2007).

Embora seja o único bioma natural brasileiro inteiramente restrito ao território nacional, pouca atenção tem sido dada à conservação da diversificada e marcante paisagem da Caatinga (BEZERRA *et al.*, 2014), que tem sido desmatado de forma acelerada, devido principalmente ao consumo de lenha nativa, explorada de forma ilegal e insustentável, para fins domésticos e indústrias, ao sobrepastoreio e a conversão para pastagens e agricultura (MMA, 2015).

Segundo Costa *et al.* (2009), as atividades que contribuem para a diminuição da diversidade potencial no semiárido brasileiro são: (1) corte raso da caatinga hiperxerófita, para atender a demanda de lenha; (2) cortes seletivos; (3) supressão para uso agrícola; (4) queima para limpeza da área; (5) predação de espécies vegetais pela pecuária (caprinos e bovinos).

Assim, a gestão atual da terra na caatinga está se tornando insustentável porque não existem protocolos adequados para refletir as condições locais e assegurem a gestão sustentável dos recursos (FIGUEIRÔA *et al.*, 2006).

Em virtude da importância e da carência de dados de campo para monitorar a dinâmica espaço-temporal da Caatinga em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, pesquisas utilizando geotecnologias como, por exemplo, sensoriamento remoto permitem

compreender o comportamento dos parâmetros biofísicos, face às mudanças climáticas e ações antropogênicas ocorridas nessa região (BEZERRA *et al.*, 2014).

### **3.4 Geotecnologias aplicadas nos recursos naturais**

Atualmente as geotecnologias têm sido utilizadas como suporte para trabalhos em diversas áreas, como análise geográfica, para o avanço do conhecimento científico, bem como para os tomadores de decisão dos setores de planejamento. A demanda por geoinformação contendo referência espacial e associado principalmente ao estudo dos recursos naturais, tem aumentado cada vez mais devido ao crescimento das necessidades por conhecimento espacializado (MARTINS; RODRIGUES, 2012).

As geotecnologias podem ser definidas como o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Dentre as geotecnologias podemos destacar: sistemas de informação geográfica (SIG), cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia (ROSA, 2005).

As geotecnologias são usadas para o estudo da paisagem (topografia, hidrografia, geologia e geomorfologia) e variáveis ambientais (temperatura, pluviosidade e radiação solar), analisar e auxiliar na prevenção de desastres naturais (enchentes, terremotos e erupções vulcânicas), além de gerenciar e monitorar a atividade humana (infraestrutura, agropecuária e dados socioeconômicos) (TÔSTO *et al.*, 2014).

O surgimento das geotecnologias representa uma nova dimensão para a compreensão do processo de produção do espaço e, sendo assim, pressupõe uma retomada do esforço teórico e metodológico, daqueles que lidam com o tema, no sentido de compreender suas razões e desdobramentos (MATIAS, 2001). O avanço das tecnologias da informação, o número crescente de satélites e sensores e a ampliação da capacidade de processamento e armazenamento de dados e informações geoespaciais contribuíram muito para a popularização das geotecnologias (TÔSTO *et al.*, 2014).

Assim, as geotecnologias têm se mostrado instrumentos imprescindíveis para atividades de diagnóstico, análise, planejamento e gestão ambiental, permitindo a visualização e a distribuição de fenômenos geográficos, tanto físicos quanto sociais, facilitando a tomada de decisões por qualquer agente que se interesse pelo uso e ocupação do espaço (MARTINS; ROSA, 2012). Nesse sentido, a utilização das geotecnologias se torna um instrumento de

grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água (FLAUZINO *et al.*, 2010).

A partir do uso das geotecnologias, a coleta de dados de uma área, a edição de mapas digitais complexos e o cruzamento de informações espaciais se tornaram tarefas fáceis de serem realizadas. Atualmente, as geotecnologias são instrumentos de extrema relevância para a análise espacial em suas diferentes e variadas discussões. Esses sistemas trazem para o usuário uma série de comodidades em suas pesquisas, além de proporcionarem uma maior confiabilidade e precisão nas informações (LEITE, 2011).

Ressalta-se que a aplicação das geotecnologias, principalmente através dos sistemas de informação geográfica (SIG), tem demonstrado ser eficiente para análises das interações das ações humanas sobre o meio físico, permitindo obter informações complementares a respeito destas influências mútuas (ZANELLA *et al.*, 2013).

#### 3.4.1 Sistemas de informação geográfica (SIG)

Para Fitz (2008), Sistemas de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido.

Os dados a serem utilizados por um SIG podem ter origem em várias fontes, podendo ser classificados em primários e secundários; os dados primários são aqueles que têm sua origem direta do campo ou sobre produto de sensoriamento remoto. Já os dados secundários envolvem mapas e estatísticas. A coleta dos dados pode ser auxiliada pelo uso de fotografias aéreas e outras imagens de sensoriamento remoto (FERREIRA *et al.*, 2009).

A capacidade que os Sistemas de Informação Geográfica têm de produzir, armazenar, analisar e visualizar grande quantidade de dados espacialmente relacionados, proporciona um grande potencial para identificar áreas problemáticas e desenvolver projetos com o intuito de lidar com as questões relacionadas à gestão territorial e ambiental.

As principais formas de utilização de um SIG estão no campo do gerenciamento de serviços, nos estudos científicos, na integração de áreas de conhecimento, na formação e tomada de decisões, caso da gestão compartilhada de Bacias Hidrográficas e grandes empreendimentos (FERREIRA *et al.*, 2009).

Dadas as grandes escalas espaciais sobre os quais a vegetação terrestre é avaliada e monitorizada, as técnicas de sensoriamento remoto se colocam como a ferramenta lógica para avaliar a sua vulnerabilidade (SMITH *et al.*, 2014). Nesse sentido, a identificação, o mapeamento e a interpretação da evolução do uso e cobertura do solo de uma determinada região, podem ser obtidos a partir da análise multitemporal de imagens de sensores remotos, integrados em ambiente de sistemas de informação geográfica.

### 3.4.2 Sensoriamento remoto

Embora o conceito seja muito amplo, Sensoriamento Remoto pode ser definido como uma técnica que tem por finalidade a aquisição e o registro de informações sobre um objeto sem que ocorra o contato direto com esse objeto (GIBSON, 2000).

Sensoriamento remoto é frequentemente visto como sinônimo de imageamento por satélite, e esses satélites na órbita da Terra estão continuamente produzindo dados sobre o estado da superfície terrestre. No entanto, existem muitas fontes alternativas de dados, como por exemplo, imagens aéreas históricas, equipamentos de imageamento hiperespectrais aerotransportados, aeronaves não tripuladas, instrumentos LIDAR (Light Detection and Ranging), e até mesmo radar de penetração no terreno são fontes de obtenção de dados de sensoriamento remoto (COLPAERT, 2014). As aquisições dos dados de sensoriamento remoto podem ocorrer nos níveis orbital, aéreo ou terrestre, variando conforme a localização dos sensores (LEÃO, 2010).

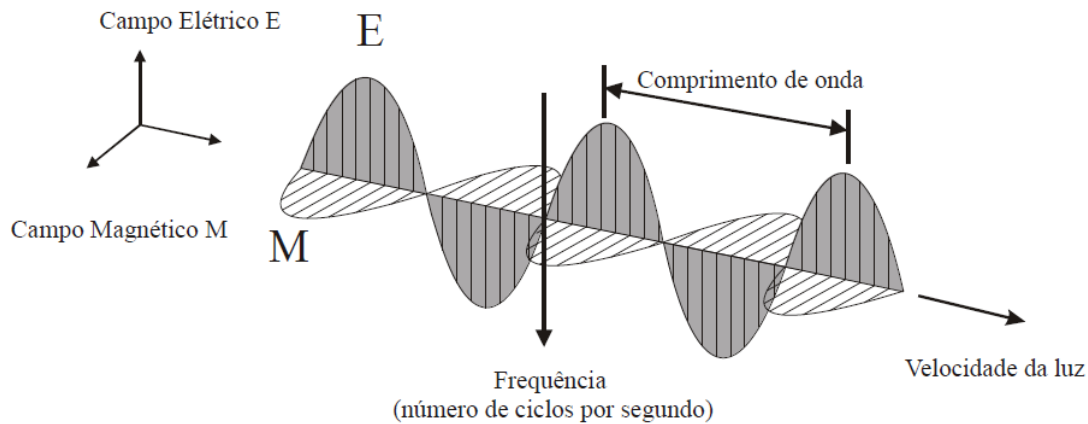
O funcionamento dos sensores embarcados em satélites artificiais ocorre a partir do registro direto das informações da radiação eletromagnética (REM), que viaja através do vácuo do espaço a uma velocidade de  $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  da fonte, e indireto por meio da reflexão das ondas eletromagnéticas para o sensor. Esses sensores podem ser classificados em passivos e ativos. Sensores passivos coletam os dados da radiação eletromagnética que é refletida ou emitida da região de interesse, enquanto sensores ativos emitem a energia e registram o comportamento da sua interação com o alvo de interesse. (SOUSA, 2014).

A dualidade do comportamento da radiação eletromagnética (Figura 1), onda e energia é formulada pelos modelos denominados de ondulatório (onda) e corpuscular (energia). Esse conceito de dualidade é extremamente importante para o sensoriamento remoto, pois a coexistência da radiação eletromagnética na forma de onda e na forma de energia deverá ser considerada para que se possa explicar tudo o que se observa nas imagens com referência às características dos objetos. O objeto imageado é registrado pelo sensor por



meio de medições da radiação eletromagnética, tal como a luz solar refletida da superfície de qualquer objeto. Nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto (MENESES; ALMEIDA, 2012).

**Figura 1** - Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações ortogonais dos campos magnético (M) e elétrico (E)



Fonte: Meneses e Almeida (2012).

Com o desenvolvimento das tecnologias de sensoriamento remoto, tornou-se muito mais viável em termos econômicos, de tempo de processamento e abrangência da área a ser mapeada, obter informações com um atributo geográfico, identificar processos de degradações ambientais intensos e mapear o avanço de ocupação em áreas de preservação (PRADO; NOVO; PEREIRA, 2007). Se reconhece que um importante avanço na aplicação de tecnologias de sensoriamento remoto para estudos de detecção de mudanças foi o desenvolvimento de um consistente banco de dados de imagens, além da implementação dos esforços de mapeamento da cobertura do solo em varias escalas (LUNETTA *et al.*, 2002).

Para Ribeiro *et al.* (2008) as técnicas de Sensoriamento Remoto são de grande importância para o estudo e preservação dos recursos naturais, facilitando o levantamento de áreas de difícil acesso, bem como o acompanhamento dos processos dinâmicos da natureza. Essas técnicas se constituem em uma ferramenta poderosa para o estudo e pesquisa dos inúmeros problemas científicos relacionados com os recursos naturais, pois através de sua principal característica, a repetição, supre o problema do mapeamento em intervalos curtos de tempo.

Nesse contexto, as imagens provenientes de sensoriamento remoto vêm servindo como base para estudos e levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos,

florestais, urbanos, entre outros (SOUSA, 2009). Além disso, essas imagens passaram a representar uma das únicas formas viáveis para realizar monitoramentos ambientais tanto em escalas locais como em globais, já que são produzidas com rapidez, eficiência e periodicidade.

Dessa forma, as mudanças na cobertura da terra podem ser identificadas através da comparação de no mínimo duas imagens de diferentes períodos de tempo. Os resultados dessa comparação são, por exemplo, um polígono, uma linha ou um ponto de características de cobertura da terra que representam o tamanho, a forma ou ocorrência das alterações no quadro dos horizontes temporais em questão. Assim, a resolução espacial da imagem se torna importante, porque determina a que nível de detalhe as alterações podem ser detectadas (FERANEC *et al.*, 2007).

#### 3.4.2.1 Série de satélites Landsat

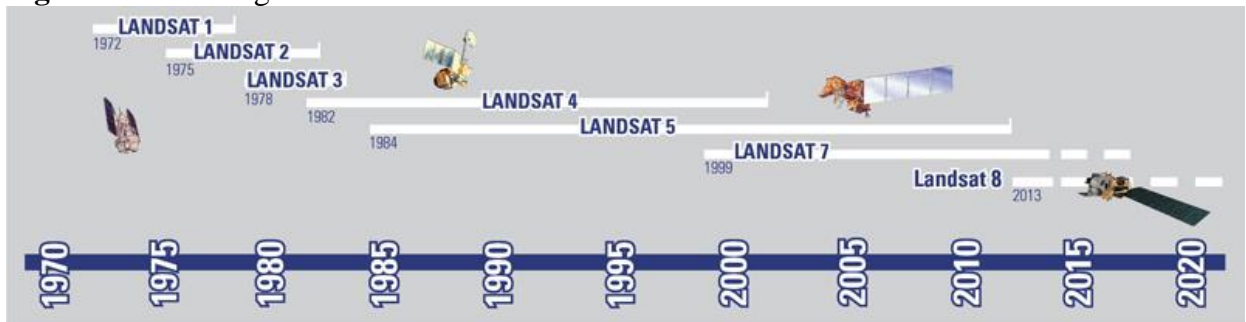
Desde 1972, os satélites Landsat têm continuamente adquirido imagens espaciais da superfície terrestre (Tabela 1). O Programa Landsat é um esforço conjunto do United States Geological Survey (USGS) e da National Aeronautics and Space Administration (NASA), criado para reunir rotineiramente imagens da terra a partir do espaço. A NASA desenvolve os instrumentos de sensoriamento remoto e os veículos espaciais, em seguida, lança e valida o desempenho dos instrumentos e satélites. Posteriormente o USGS assume a propriedade e operação dos satélites, além de gerenciar toda recepção em solo, arquivamento de dados, geração de produto e distribuição. O resultado desse programa é um registro de longo prazo (Figura 2) de mudanças naturais e induzidas pelo homem no cenário global (USGS, 2013).

**Tabela 1** - Datas das missões Landsat

<b>Satélite</b>	<b>Lançamento</b>	<b>Desativação</b>	<b>Sensores</b>
Landsat 1	23/07/1972	06/01/1978	MSS/RBV
Landsat 2	22/01/1975	27/07/1983	MSS/RBV
Landsat 3	05/03/1978	07/09/1983	MSS/RBV
Landsat 4	16/07/1982	15/06/2001	MSS/TM
Landsat 5	01/03/1984	01/2013	MSS/TM
Landsat 6	05/10/1993	Não alcançou órbita	ETM
Landsat 7	15/04/1999	Operacional	ETM+
Landsat 8	11/02/2013	Operacional	OLI/TIRS

Fonte: USGS (2013).

**Figura 2** - Cronologia das missões Landsat



Fonte: USGS (2013).

A iniciativa do USGS de disponibilizar todo arquivo Landsat em 2008 e 2009 (USGS, 2008), resultou em um aumento da capacidade de realizar análises ambiciosas da dinâmica terrestre em grandes áreas, com a utilização de densas séries temporais de imagens (WULDER *et al.*, 2011), favorecendo dessa forma a execução de uma grande quantidade de estudos.

Segundo Gutman *et al.* (2013) esse banco de dados será continuamente ampliado com novas aquisições do programa Landsat. Ainda segundo o autor, este banco é adequado para o mapeamento de mudanças na superfície da Terra, incluindo o desmatamento, expansão agrícola, perda de zonas úmidas, expansão urbana, e outras conversões de terra, porque muitas dessas mudanças ocorrem em áreas menores que um hectare, e portanto, não podem ser caracterizadas de forma confiável usando conjuntos de dados com tamanhos de pixel maiores do que as áreas onde ocorreram as mudanças. Entre os satélites do programa, o Landsat 5 é reconhecido como a mais longa missão de satélite operacional de observação da Terra da história. Como foi informado anteriormente, o satélite Landsat 5 foi lançado em março de 1985, e em 5 de junho de 2013 o USGS transmitiu seu último comando para o satélite, efetivamente terminando a missão 29 anos e 3 meses após o seu lançamento pela NASA. Dois sensores estavam embarcados nesse satélite, o Thematic Mapper (TM) que concluiu sua operação de coleta de imagens em novembro de 2011, e o Multispectral Scanner (MSS) que coletou dados até janeiro de 2013.

O satélite Landsat 5 operou em órbita polar, circular e heliossíncrona a uma altitude de 705 km, ângulo de inclinação de 98,2°, largura da faixa imageada de 185 km, repetição do ciclo (resolução temporal) de 16 dias. O satélite cruzava a linha do equador às 9 horas e 45 minutos (+/- 15 minutos) da manhã. A resolução espacial do sensor Thematic Mapper era de 30 metros nas bandas espectrais e 120 para a banda termal. Cada cena do satélite Landsat 5 cobria uma área de 170 km x 185 km.

O satélite Landsat 8 opera em órbita heliossíncrona a uma altitude de 705 km, inclinado 98,2°, cobrindo todo o planeta a cada 16 dias (resolução temporal) e circulando a Terra a cada 98,9 minutos. O satélite cruza a linha do equador às 10 horas (+/- 15 minutos) da manhã. A resolução espacial do sensor Operational Land Imager (OLI) para as bandas espectrais 1 a 7 e 9 é de 30 metros. A banda pancromática (banda 8) possui resolução espacial de 15 metros. Cada cena do satélite Landsat 8 cobre uma área de 170 km x 185 km.

### **3.5 Sazonalidade climática na região semiárida**

As regiões semiáridas apresentam altas variabilidades espaciais e temporais da precipitação, especificamente no semiárido brasileiro se têm vivenciado extremos do clima, como as secas e as cheias (CABRAL *et al.*, 2013). O Estado do Ceará possui 86,8% do seu território inserido na região semiárida, o que equivale a uma área de 126.514,9 km<sup>2</sup> (IPECE, 2010). Por ter grande parte de seu território inserido nessa região, o comportamento da precipitação média mensal no estado apresenta um padrão sazonal, com um período seco começando em julho e terminando em dezembro, e um período chuvoso ocorrendo entre os meses de janeiro e junho (GUERREIRO *et al.*, 2013).

A sazonalidade de regiões de clima semiárido tropicais, com duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa, resulta em grandes alterações na paisagem das florestas secas. Essas alterações são decorrentes da má distribuição da chuva durante o ano, onde se observa índices pluviométricos distintos entre as duas principais estações, seca e chuvosa, proporcionando rápidas respostas às mudanças ambientais (BATISTA; SANTOS, 2013). Dessa forma o clima é considerado como o elemento condicionador da dinâmica do meio ambiente, pois exerce influência direta tanto nos processos de ordem física quanto biológica (SILVA *et al.*, 2010). Para o semiárido brasileiro, Santos *et al.* (2009) afirmam que a precipitação é uma variável determinante das condições do clima, bem como da sua variabilidade e mudança em longo prazo.

Com relação a sazonalidade interanual, o Nordeste do Brasil se destaca de forma proeminente entre as regiões tropicais como uma área em que as chuvas sofrem uma alta variabilidade de ano para ano (CHU, 1983). Devido à localização no extremo leste da América do Sul tropical, a região Nordeste brasileira está submetida à influência de fenômenos meteorológicos, que lhe conferem características climáticas peculiares, únicas em semiáridos de todo mundo (MOLION; BERNARDO, 2008).

Estudos recentes têm demonstrado uma alta correlação entre a ocorrência de eventos extremos (secas e cheias) em diferentes partes do planeta e o fenômeno denominado "El Niño", associado ao aumento da temperatura da água no oceano Pacífico. No Brasil, "El Niño" provoca grandes enchentes na Região Sul, e torna mais severa a seca na região semiárida do Nordeste (CIRILO, 2008).

A variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o Nordeste brasileiro, tanto nas escalas espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico. O impacto causado pelo fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), um exemplo de perturbação climática de escala global, pode ser sentido principalmente pela modificação no regime e no total de precipitação que, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas severas, interferindo, de forma expressiva, nas atividades humanas (MOLION; BERNARDO, 2008).

Ainda segundo Molion e Bernardo (2008), o norte do NE (NNE) abrange os estados do Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e oeste da Paraíba e Pernambuco. Os índices pluviométricos nessa região variam de 400 mm/ano (interior) a mais de 2.000 mm/ano (litoral) e os quatros meses mais chuvosos estão entre fevereiro e maio (FMAM). Os principais mecanismos de produção de chuva no NNE são a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), a convergência de umidade (brisas e POA - Perturbações Ondulatórias nos Alísios), a convecção local e, muito raramente, a influência direta das frentes frias.

Guerreiro *et al.*(2013) realizaram um estudo com o objetivo de descrever e analisar as variações de longo prazo dos índices de precipitação mensal no estado do Ceará e relaciona-las com anomalias na temperatura da superfície do mar. Os autores verificaram que a duração máxima de dias consecutivos secos mostra uma tendência crescente e significativa, praticamente ao longo de todo o estado do Ceará no período de setembro a novembro, que também são os meses mais secos, explicitando que as secas no estado estão se intensificando nos meses secos do ano. Quanto para os outros meses, os autores constataram que uma tendência crescente também é verificada, esparsamente distribuídas em toda a região, com algumas exceções particularmente no mês de agosto.

Santos *et al.* (2009), observaram em estudo que levantou as tendências na precipitação total e eventos extremos de precipitação sobre o Estado do Ceará que os resultados obtidos apontam para um aumento dos dias úmidos e da precipitação total anual, no entanto, não foi identificado uma diminuição dos dias consecutivos secos, o que

caracteriza que está chovendo mais, porém em um menor número de dias. Estas características são preocupantes, pois se esse aumento de precipitação se mantiver, poderá acarretar inundação nos grandes centros, assim como a destruição de reservatórios e perdas da agricultura pelo excesso de água em um curto intervalo de tempo.

Fernandes (2014) em estudo que objetivou quantificar e espacializar as frequências das ocorrências dos veranicos nas regiões climaticamente homogêneas do estado do Ceará, verificou que dentre essas regiões, a região Central, dos Inhamuns e a Jaguaribana apresentaram uma maior vulnerabilidade agrícola, uma vez que o número de veranicos superiores a vinte dias se aproxima do dobro aos ocorridos nas outras regiões de precipitação similar. O autor também observou que os meses de fevereiro e maio são os de maior ocorrência dos veranicos no estado. Já o mês de abril mostrou-se como o de menor ocorrência em todo o período estudado.

Diante das incertezas presentes nas regiões semiáridas, Guerreiro *et al.* (2013) observaram uma tendência de diminuição da precipitação mensal ao longo de quase todo o estado do Ceará. Para os autores a ocorrência desse fato pode afetar de forma negativa o armazenamento de água e a agricultura de sequeiro no estado, sendo necessário que a água da região seja armazenada no início da estação chuvosa.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

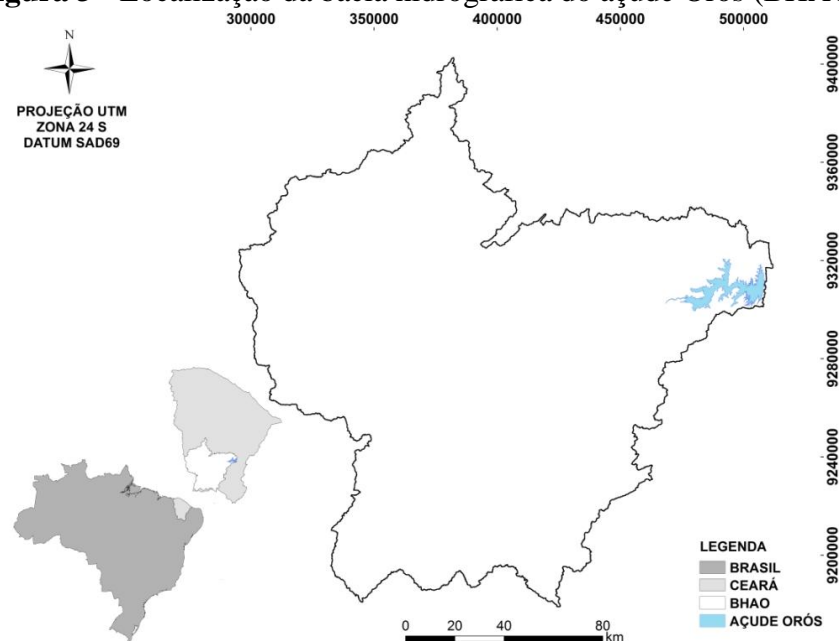
### 4.1 Localização geográfica e caracterização geral

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do açude Orós (BHAO), que está localizada na região semiárida do Estado do Ceará, mais especificamente na porção Sudoeste do Estado (Figura 3). Limita-se ao Oeste com o Estado do Piauí; ao Leste com a Bacia do Salgado; ao Norte com as Bacias dos Sertões de Crateús, Banabuiú e Médio Jaguaribe; e ao Sul com o Estado de Pernambuco.

A BHAO drena uma área de 24.900 km<sup>2</sup>, estando totalmente inserida na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, o que equivale a aproximadamente 99% da área total dessa bacia que é de 25.242 km<sup>2</sup> e a 17% do território o estado do Ceará que é de 148.825 km<sup>2</sup>.

Estando a BHAO inserida na maior região hidrográfica do estado, 26 municípios possuem seus territórios inseridos na mesma, dos quais 23 integralmente: Acopiara, Aiuaba, Altaneira, Antonina do Norte, Araripe, Arneiroz, Assaré, Campos Sales, Cariús, Catarina, Farias Brito, Iguatu, Jucás, Nova Olinda, Orós, Parambu, Potengi, Quixelô, Saboeiro, Salitre, Santana do Cariri, Tarrafas e Tauá; e três parcialmente: Caririaguçu (11%), Crato (14%) e Várzea Alegre (18%) (TOLEDO, 2013).

**Figura 3** - Localização da bacia hidrográfica do açude Orós (BHAO)



Fonte: Elaborado pelo autor.

O clima da região conforme a classificação de Köppen é BSw'h', semiárido quente com chuvas de verão e outono e temperatura média mensal sempre superior a 18 °C. A precipitação pluviométrica média da bacia para o período de estudo (2003, 2005, 2008 e 2013) foi de 635 mm. Para obter essa e outras informações sobre o regime pluviométrico da bacia foram levantados dados de precipitação de 7 postos pluviométricos (Figura 4) da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (2014) sendo eles: Aiuaba, Campos Sales, Farias Brito, Parambu, Quixelô, Saboeiro e Tauá. Esses postos foram escolhidos por apresentarem series de dados completas, além de serem bem distribuídos por toda a BHAO.

As séries históricas levantadas compreenderam os anos de 1978 a 2014 para o município de Aiuaba, 1974 a 2014 para o município de Campos Sales, 1979 a 2014 para o município de Farias Brito, 1978 a 2014 para o município de Parambu, 1988 a 2014 para o município de Quixelô, 1977 a 2014 para o município de Saboeiro e de 1974 a 2014 para o município de Tauá. Essas séries de dados podem ser consideradas significativas, pois permitem a visualização do comportamento climático e a ocorrência das precipitações ao longo de toda a bacia.

**Figura 4** - Distribuição dos postos pluviométricos na BHAO



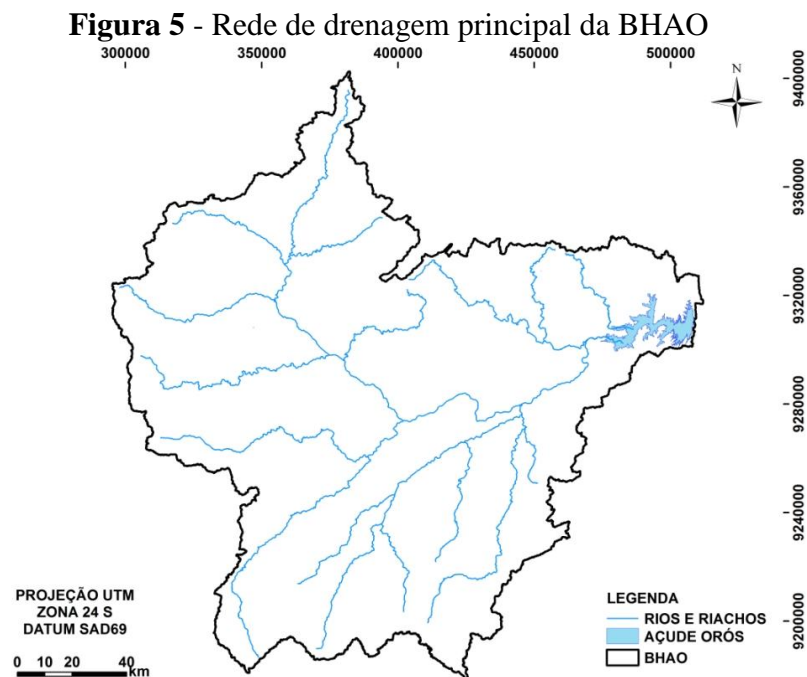
Fonte: Elaborado pelo autor.

A vegetação natural predominante na BHAO é a Caatinga, formada por espécies de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo. Esse tipo de vegetação possui características xerófitas,



com folhas pequenas, podendo apresentar uma cobertura de cera (TOLEDO, 2013). Segundo Giulietti *et al.* (2004), a Caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil. Sendo possível identifica-la através de espécies que apresentam adaptações à deficiência hídrica (como por exemplo: caducifolia, herbáceas anuais, suculência, acúleos e espinhos, predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, cobertura descontínua de copas).

Toda a rede hidrográfica da BHAO (Figura 5) é composta por rios intermitentes ou efêmeros, sendo o principal deles o rio Jaguaribe, que nasce no município de Tauá e percorre 370 km até o açude Orós (TOLEDO, 2013). O açude Orós por sua vez é o maior reservatório da bacia, sendo o segundo maior do estado, com capacidade para acumular 1.940 hm<sup>3</sup>, possuindo uma bacia hidráulica de 202,11 km<sup>2</sup> (COGERH, 2015).



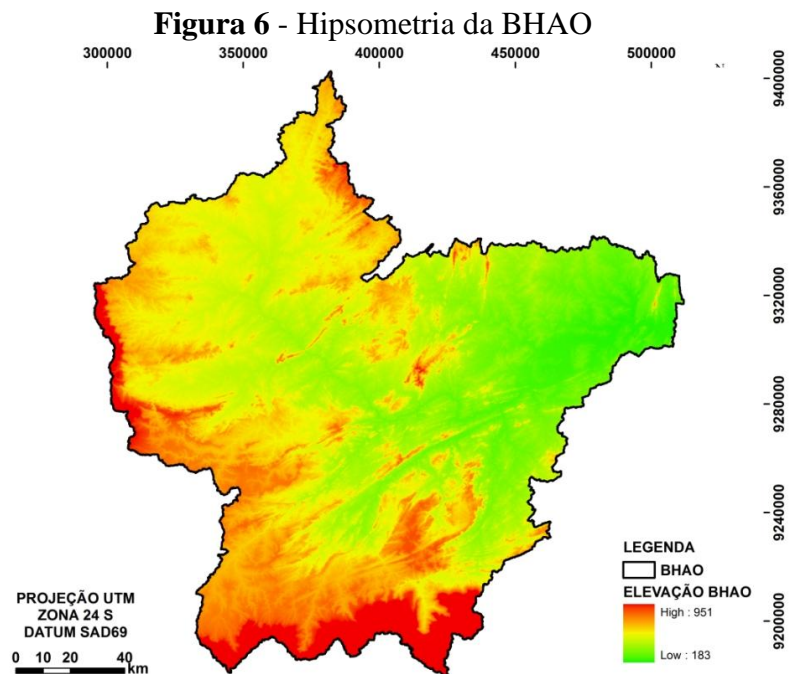
Fonte: Elaborado pelo autor.

O rio Jaguaribe tem sua nascente localizada na Serra da Joanhina, município de Tauá, porém, o rio passa a receber esse nome a aproximadamente 4 km da cidade de Tauá, na confluência dos Riachos Carrapateiras e Trici (SOUSA; MELO; DA SILVA, 2013).

Para o levantamento da área de APP (mata ciliar) dos rios, foram considerados, além do rio Jaguaribe, os principais rios e riachos da BHAO como: Rio dos Bastiões, Rio Cariús, Rio Trussu, Riacho Carrapateiras, Riacho Conceição, Riacho Condado, Riacho Barriguda, Riacho do Felipe, Riacho do Roncador, Riacho Faé, Riacho Favelas, Riacho Jucá,

Riacho Muquém, Riacho Puiú, Riacho Quincoé, Riacho São Gonçalo, Riacho São Miguel, Riacho Trici e Riacho Umbuzeiro.

O relevo da BHAO apresenta planaltos e chapadas, além das depressões. As maiores altitudes da bacia correspondem a duas unidades geomorfológicas presentes na área: o Planalto Sertanejo, onde está inserida a Chapada do Araripe (região Sul da bacia) e os Planaltos Residuais que são formados por cristas remanescentes no interior da bacia (LOPES, 2013). A partir de dados SRTM - Shuttle Radar Topography Mission (NASA, 2000), foi possível gerar o mapa de elevação da BHAO (Figura 6). Dessa forma é possível constatar que a elevação da região varia de 183 metros a 951 metros.



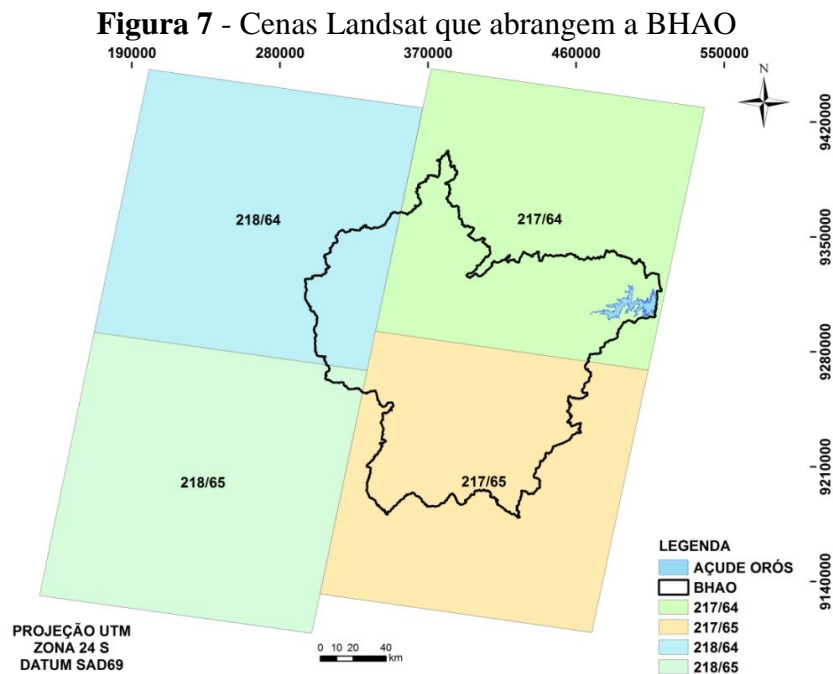
#### 4.2 Dados de sensoriamento remoto

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 – TM e Landsat 8 – OLI, adquiridas gratuitamente junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e United States Geological Survey (USGS), respectivamente.

O sensor Thematic Mapper (TM), embarcado no satélite Landsat 5, possui sete bandas espectrais, incluindo uma termal. A faixa do espectro eletromagnético compreendida por todas as sete bandas vai de 0,45  $\mu\text{m}$  a 2,35  $\mu\text{m}$ . As imagens desse sensor cobrem uma área

de 170 x 185 km. A resolução espacial das bandas desse sensor é de 30 metros, com exceção da banda termal (banda 6), que possui resolução espacial de 120 metros.

Já o sensor Operational Land Imager (OLI), embarcado no satélite Landsat 8, possui 9 bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros para as bandas 1 a 7 e 9. A banda pancromática (banda 8) possui resolução espacial de 15 metros. A faixa do espectro eletromagnético compreendida pelas nove bandas do sensor vai de 0,43  $\mu\text{m}$  a 2,29  $\mu\text{m}$ . As imagens desse sensor cobrem uma área de aproximadamente 170 x 185 km. Para abranger toda a área da BHAO foi necessário obter cenas das orbitas 217 e 218, pontos 64 e 65, totalizando quatro cenas, como pode ser observado na Figura 7.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido a grande disponibilidade de imagens, foram adotados critérios para a seleção dessas, onde as imagens selecionadas deveriam ter preferencialmente a menor cobertura com nuvens possível e terem sido imageadas no segundo semestre do ano, para que dessa forma fosse minimizado o efeito das precipitações pluviométricas sobre a vegetação da região. Na Tabela 2 são apresentadas as datas das imagens selecionadas para a realização do estudo.

**Tabela 2** - Informações das imagens selecionadas

Satélite	Landsat 5 – TM				Landsat 5 - TM			
Ano	2003				2005			
Orbita	217		218		217		218	
Ponto	64	65	64	65	64	65	64	65
Data	26/out	26/out	01/out	01/out	15/out	15/out	22/out	22/out

Satélite	Landsat 5 – TM				Landsat 8 – OLI			
Ano	2008				2013			
Orbita	217		218		217		218	
Ponto	64	65	64	65	64	65	64	65
Data	20/ago	20/ago	27/ago	27/ago	19/set	19/set	10/set	10/set

Fonte: Elaborado pelo autor.

Porém não foi possível obter todas as cenas livres de nuvens, sendo necessária a realização da sua quantificação, assim como das sombras provocadas por elas no processo de pós-classificação. Esse processo se faz necessário por conta de interferências no levantamento quantitativo das áreas, onde as nuvens poderiam ser quantificadas como áreas antropizadas e suas sombras como água.

Para se identificar o efeito da precipitação ocorrida nos meses anteriores sobre a classificação da imagem, computou-se o total precipitado para cada um dos três meses antecedentes ao mês em que foram geradas as imagens. Para o período de estudo, o ano de 2005 se destaca pela falta de precipitação pluviométrica em todos os meses levantados. A Tabela 3 apresenta o total precipitado em cada mês, sendo destacado em negrito o mês em que as imagens foram geradas.

**Tabela 3** - Comportamento das precipitações pluviométricas nos três meses antecedentes ao mês de obtenção das imagens

2003		2005		2008		2013	
Mês	mm	Mês	Mm	Mês	mm	Mês	mm
Julho	0,00	Julho	0,00	Maio	70,16	Junho	49,69
Agosto	1,14	Agosto	0,00	Junho	1,86	Julho	21,44
Setembro	0,00	Setembro	0,00	Julho	4,36	Agosto	3,86
<b>Outubro</b>	0,00	<b>Outubro</b>	0,00	<b>Agosto</b>	1,74	<b>Setembro</b>	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Processamento e análise das imagens

Na etapa de processamento e análise das imagens foram tomados como ferramentas os softwares ArcMap 9.3, ENVI 4.7, Google Earth 7.1.2 e X-6Scorr.

Inicialmente foi realizado a correção atmosférica das imagens do satélite Landsat 5. A realização da correção atmosférica de imagens de satélite permite a obtenção dos valores de reflectância características do alvo (ANTUNES *et al.*, 2003), melhorando dessa forma o resultado da classificação das imagens de satélite. Para isso foi utilizado o software X-6Scorr (MONTANHER; PAULO, 2014). Esse software realiza as conversões de número digital para fator de reflectância bidirecional aparente e de superfície de forma semi-automática (MONTANHER; PAULO, 2014).

Após a etapa de correção atmosférica das imagens, iniciou-se a etapa de composição de bandas. Nesse estudo foram realizadas duas diferentes composições de bandas dos satélites utilizados. A composição escolhida para o satélite Landsat 5 – TM foi R4/G3/B2 (falsa cor), por fornecer uma melhor definição entre os limites de solo e água, além de apresentar as diferenças na vegetação (INPE, 2014). A composição do satélite Landsat 8 – OLI foi R5/G4/B3, por abranger praticamente os mesmos comprimentos de ondas das bandas do satélite Landsat 5, obtendo assim os mesmos resultados. A Tabela 4 apresenta as bandas selecionadas para a composição e seus respectivos comprimentos de ondas.

**Tabela 4** - Comprimento de onda das bandas selecionadas para a composição das imagens

Satélite	Banda	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )
<b>Landsat 5 – TM</b>	4 - infravermelho próximo	0,76 - 0,90
	3 – vermelho	0,63 - 0,69
	2 – verde	0,52 - 0,60
<b>Landsat 8 - OLI</b>	5 - infravermelho próximo	0,85 - 0,88
	4 – vermelho	0,64 - 0,67
	3 – verde	0,53 - 0,59

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a composição de bandas de todas as cenas, as imagens foram reprojadas do Datum WGS84 para o Datum SAD69. Posteriormente foi executado o georreferenciamento dessas imagens, onde foram utilizadas como referência as imagens Geocover 2000. Essa etapa foi realizada apenas nas imagens Landsat 5, pois as imagens Landsat 8 já são disponibilizadas pelo USGS georreferenciadas. O processo de composição de bandas das cenas escolhidas, assim como as etapas citadas anteriormente foram realizadas no software ENVI 4.7.

As etapas seguintes consistiram nas execuções do mosaico e recorte, também efetuadas no software ENVI 4.7. O mosaico constituiu a montagem das quatro cenas que abrangem a BHAO em uma única cena. Já o recorte do mosaico teve por objetivo selecionar

apenas a área de interesse para o estudo, sendo essa etapa realizada com base no arquivo shapefile com os limites da BHAO.

#### **4.4 Classificação supervisionada do uso e cobertura do solo**

Para o levantamento do uso e cobertura do solo da BHAO, foi utilizado o método de classificação supervisionado máxima verossimilhança – MAXVER. Para se obter um resultado satisfatório na classificação das imagens com a utilização desse método, o classificador deve ter o prévio conhecimento da área que será levantada, além de realizar a seleção de um número considerável de pixels para as amostras de treinamento.

Para Ribeiro, Baptista e Bias (2007), a classificação supervisionada máxima verossimilhança é o método mais utilizado quando é necessária a obtenção de classes de informações a partir de imagens de sensores remotos. A distribuição espectral das classes de uso e cobertura do solo é considerada como sendo gaussiana ou normal, onde objetos pertencentes à mesma classe apresentarão resposta espectral próxima à média de valores para aquela classe.

Dessa forma as classes de uso e cobertura determinadas para que se pudesse entender a dinâmica que ocorre na bacia hidrográfica do açude Orós foram: água, área antropizada, caatinga densa, caatinga rala, mata ciliar, vazante, nuvem e sombra. Essas classes foram definidas com base nas seguintes características físico-ambientais:

A classe Água compreende a rede hidrográfica, lagos e reservatórios presentes na bacia. Na composição RGB das imagens Landsat 5 e 8, esta classe apresenta a coloração preta. Em reservatórios com grande concentração de sedimentos em suspensão, ela pode apresentar coloração azul clara.

A classe Área Antropizada remete as áreas que sofreram alguma intervenção humana, sendo caracterizadas por ocupação urbana (edificações, sistema viário, etc.), além de áreas desmatadas, solo exposto e áreas com atividades agropecuárias de sequeiro. Na composição RGB esta classe se apresenta tanto na tonalidade branca como verde claro.

A classe Caatinga Densa representa a formação vegetal arbórea mais densa presente na bacia, geralmente localizada em regiões com altitudes mais elevadas (serras, morros, etc.). Essa vegetação é caracterizada pela formação caatinga arbórea densa. Na composição RGB esta classe se apresenta na tonalidade vermelho a vermelho escuro.

A classe Caatinga Rala é representada pela vegetação de porte baixo a médio, sendo caracterizada pela formação caatinga herbácea arbustiva. Na composição RGB esta classe se apresenta na tonalidade marrom.

A classe Mata Ciliar (APP) compreende a vegetação presente nas faixas marginais dos rios e reservatórios da bacia, sendo composta basicamente pelas classes Caatinga Densa e Caatinga Rala.

A classe Vazante se caracteriza pelas atividades agrícolas realizadas nas faixas de terras situadas dentro da bacia hidráulica dos reservatórios da bacia. As classes de Mata Ciliar e Vazante foram obtidas a partir da extração por meio de recorte do arquivo shapefile contendo as informações obtidas das classificações realizadas nas imagens da bacia.






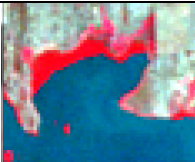
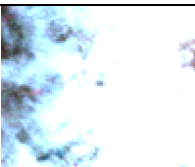

As áreas de mata ciliar dos rios foram definidas de acordo com a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, onde estabelece a largura mínima que as faixas de APP devem ter ao longo dos cursos. Para obter a largura dos rios foi utilizado o software Google Earth, onde foram feitas várias medições de larguras ao longo dos cursos selecionadas, desde suas nascentes até a foz, e posteriormente foi obtida a largura média de cada curso. Deve-se destacar que esta média serve como referência, tendo em vista que a largura da faixa marginal aos cursos e a área qualificada como de preservação permanente são variáveis.

A classe Nuvem se caracteriza pela sua fácil identificação devido à presença de formas idênticas e próximas. Na composição RGB esta classe se apresenta na tonalidade branca devido a sua elevada reflectância.

A classe Sombra se caracteriza pela sua distância e localização proporcionada pela inclinação dos raios solares incidentes sobre uma nuvem. Na composição RGB esta classe se apresenta na tonalidade preta.

A Tabela 5 apresenta o padrão das classes de uso e cobertura do solo determinadas a partir da composição RGB das imagens utilizadas no presente estudo.

**Tabela 5** - Padrão apresentado das Classes de uso e cobertura do solo da BHAO na composição RGB

Classe	Padrão na composição RGB
Água	
Antropizada	
Caatinga Densa	
Caatinga Rala	
Mata Ciliar	
Vazante	
Nuvem	
Sombra	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliar a qualidade e exatidão das classificações realizadas, foram utilizados a acurácia e o índice Kappa, ambos obtidos a partir da matriz de confusão gerada pelo software ENVI 4.7.

Segundo Souza *et al.* (2014) a matriz de confusão expõe a acurácia e o índice kappa da classificação. Para tal, comparam-se os dados da classificação com amostras tomadas como puras e que não foram usadas no processo de classificação, onde o resultado



dessa comparação é apresentado na forma de uma matriz. Na matriz, os componentes da diagonal principal fornecem o número de pixels corretamente classificados para cada classe correspondente, a coluna marginal corresponde ao número total de elementos de imagem para cada classe e a linha marginal o número de pontos atribuídos a cada classe. Ainda segundo os autores, a exatidão específica de cada classe está evidenciada na última coluna da tabela representando a percentagem de pixels do mapa temático que foram corretamente classificados. No fim dessa coluna está apresentada a acurácia.

O índice Kappa é bastante utilizado para se realizar a validação de classificações de imagens feitas a partir de técnicas de sensoriamento remoto. Na Tabela 6 podem ser identificados os índices e o nível de qualidade da classificação realizada de acordo com Landis e Koch (1977).

**Tabela 6** - Qualidade das classificações de acordo com o índice Kappa

Valores de Kappa	Qualidade da classificação
< 0,00	Péssima
0,00 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito boa
0,81 - 1,00	Excelente

Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizado a etapa de classificação das imagens, os arquivos raster contendo as informações das classes de uso e cobertura do solo da bacia foram transformados em vetores. Em seguida esses vetores foram convertidos em arquivos shapefile, para que posteriormente fossem calculadas as áreas das classes por meio do software de ArcMap 9.3. Dessa forma, foram obtidos quatro arquivos shapefile, correspondentes aos quatro anos analisados, com todas as informações de áreas de cada classe de uso e cobertura da BHAO. No software ArcMap 9.3, esses arquivos shapefile foram abertos, e todas as informações das áreas foram exportadas para planilhas, com o intuito de posteriormente serem quantificadas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Sazonalidade climática da BHAO

A precipitação pluviométrica da região para os anos de estudo (2003, 2005, 2008 e 2013) variou de 453 mm a 932 mm, com uma média de 635 mm. Na Tabela 7 é apresentada a precipitação pluviométrica total anual, a precipitação pluviométrica total ocorrida no período chuvoso (janeiro a maio) e a percentagem da precipitação total incidente na bacia no período chuvoso para cada ano considerado no estudo. O período chuvoso mencionado anteriormente refere-se ao período predominantemente mais chuvoso da região de estudo, que compreende os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio.

**Tabela 7** - Valores de precipitação pluviométrica total anual, total do período chuvoso e percentagem da precipitação total incidente no período chuvoso na BHAO

Ano	2003	2005	2008	2013
<b>Total anual (mm)</b>	618	535	932	453
<b>Total do período chuvoso (mm)</b>	581	452	891	320
<b>Incidência da precipitação no período chuvoso (%)</b>	94%	84%	96%	71%

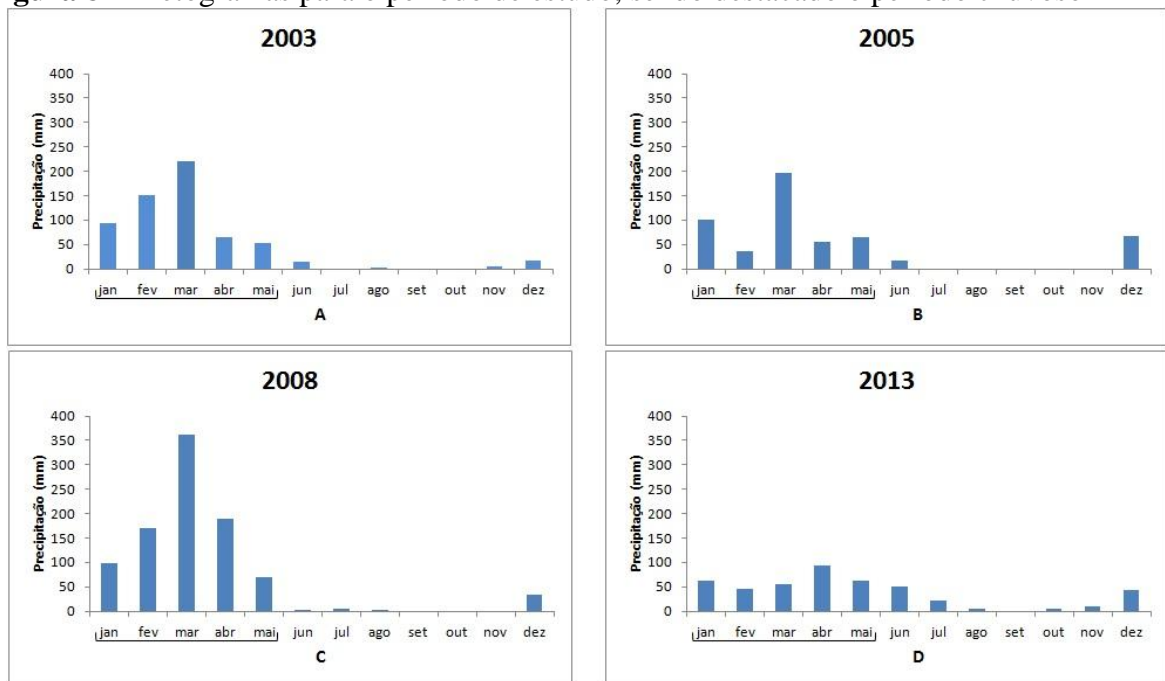
Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela análise dessas informações fica claro que grande parte (pelo menos 71%) da lâmina precipitada anualmente na bacia em todos os anos levantados, se concentra justamente no período que compreende os meses de janeiro a maio (período chuvoso). Vale mencionar que o ano com menor precipitação total anual, 2013, foi o que apresentou também o menor percentual de incidência de precipitação no período chuvoso, 71%. Embora tenha ocorrido uma menor lâmina total precipitada nesse ano, as chuvas ocorreram de forma mais distribuídas ao longo do mesmo (Figura 8D). O contrário foi observado em 2008, ano em que ocorreu a maior precipitação total anual da série temporal levantada, 932 mm. Esse ano apresentou o maior percentual de incidência de precipitação no período chuvoso, 96%, o que representa 891 mm.

Sobre a incidência de chuvas no período chuvoso, Alves, Souza e Repelli (1998) observaram que em média, nos anos de secas extremas, o total de chuvas durante a quadra chuvosa é inferior a 40% do esperado, podendo ocorrer também desvios superiores a -40%. Ainda segundo os autores, para cada ano de ocorrência de seca há uma configuração diferente de distribuição da chuva nas várias regiões do Estado do Ceará, ou seja, para cada ano de seca diferentes áreas no estado são afetadas por esse fenômeno.

Pode ser observada, na Figura 8, a distribuição mensal da precipitação pluviométrica ao longo dos anos considerados no estudo. Dessa forma, verifica-se na região uma forte variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, associada à ocorrência de secas, onde a precipitação máxima mensal se manteve abaixo de 100 mm (Figura 8D). Observa-se ainda que para o mês de março de 2008 (Figura 8C), o total precipitado (362,71 mm) foi próximo do total anual (453,23 mm) para o ano de 2013 (Tabela 7). Assim, constata-se que a lâmina precipitada na região em apenas um mês no ano de 2008, correspondeu quase que ao total precipitado durante todo o ano de 2013. Confirmando assim a variabilidade interanual característica da região semiárida já discutida por Andrade, Meireles e Palácio (2010). Nesse sentido Polzin e Hastenrath (2014) afirmam que a variabilidade interanual no regime pluviométrico da região Nordeste do Brasil pode ser entendida como desvios ocorridos no ciclo de média anual da região.

**Figura 8** - Hietogramas para o período de estudo, sendo destacado o período chuvoso



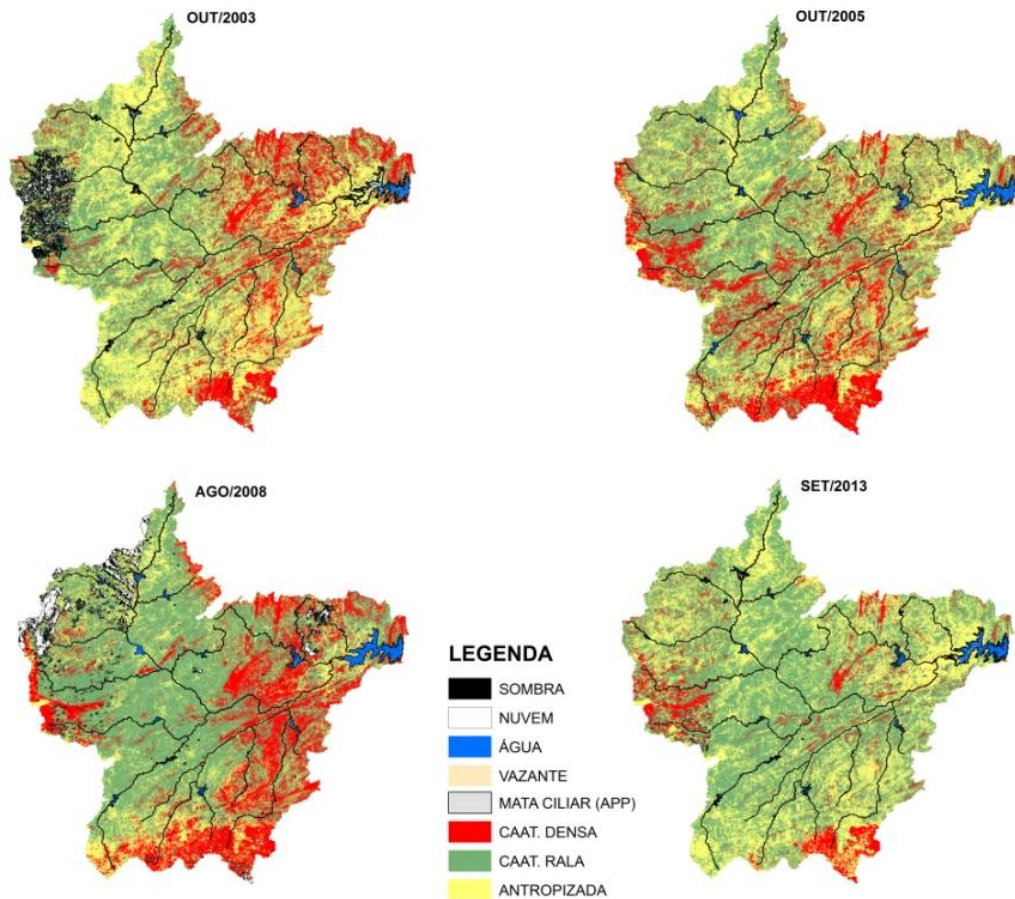
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda com relação à variabilidade interanual observada em regiões Semiáridas, Sousa, Melo e Da Silva (2013) verificaram a partir da análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) da série levantada (1921 a 2010) que a bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe apresentou um número maior de anos secos (48 anos) em relação aos anos chuvosos (40 anos), sendo esse fato segundo os autores não muito favorável à manutenção dos recursos hídricos da bacia.

## 5.2 Uso e cobertura do solo da BHAO

O processamento das imagens Landsat 5 e Landsat 8, e a aplicação da classificação supervisionada MAXVER para os anos de 2003, 2005, 2008 e 2013, possibilitaram a confecção de quatro mapas de uso e cobertura do solo da BHAO (Figura 9). As informações obtidas subsidiaram o estudo do comportamento e evolução das classes empregadas na pesquisa, possibilitando assim o diagnóstico das tendências de uso e cobertura do solo na bacia.

**Figura 9** - Mapas de classificação do uso e cobertura do solo da BHAO



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma dificuldade encontrada no presente trabalho foi a individualização de algumas classes como, por exemplo, área urbana, solo exposto e agropecuária de sequeiro. Agropecuária de sequeiro é uma atividade bastante realizada na região semiárida do Brasil. O seu ciclo se inicia geralmente na época chuvosa da região, onde o agricultor utiliza a sua área para a plantação de culturas de ciclo curto (feijão, milho, etc.). Ao fim do ciclo da cultura a

área é então utilizada como pastagem para os animais, que consomem todo o material vegetal presente na área, deixando o solo exposto na época seca do ano. A resposta espectral desse tipo de área se confunde muitas vezes com a resposta espectral de solo exposto e até mesmo de uma área urbana. Nesse contexto, Hayes e Cohen (2007) afirmam que a ocorrência de diferentes mudanças no uso e cobertura do solo em uma determinada área resulta em distintos padrões de respostas espectrais.

A dificuldade de individualização dessas classes reside no fato desses tipos de usos do solo (alvos) apresentarem o comportamento espectral bastante semelhante, o que dificulta a sua classificação em distintas classes. Por conta disso todas essas classes citadas anteriormente foram agrupadas no presente trabalho em uma única classe, Antropizada. Ferreira (2006), em levantamento temporal das classes de uso do solo da Bacia do Rio São Bartolomeu – DF, observou que algumas classes também apresentavam as mesmas respostas espectrais, dificultando assim a realização da classificação. O autor verificou que a classe reflorestamento se associava a mata de galeria, e as classes área urbana e solo exposto se associavam a classe de agricultura anual.

Analisando os dados obtidos a partir da classificação das imagens, observa-se que as classes predominantes na bacia para o período de estudo são as classes Antropizada e Caatinga Rala, exceto no ano de 2008, quando a Classe Caatinga Densa ocupou a segunda maior área da bacia, perdendo apenas para a classe Caatinga Rala. Sobre a substituição de áreas da vegetação Caatinga, Vieira *et al.* (2013) observaram, em levantamento do uso e cobertura do solo da região semiárida do Brasil, que 57% do território do Nordeste brasileiro representa áreas antropizadas. Segundo os autores essas áreas eram anteriormente ocupadas, principalmente por Caatinga, verificando-se assim uma acelerada degradação da vegetação nativa da região.

A Tabela 8 apresenta a área total ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo da BHAO e o seu respectivo coeficiente de variação ao longo dos anos estudados.

**Tabela 8** - Áreas totais (km<sup>2</sup>) e Coeficiente de Variação (%) para cada classe de uso e cobertura do solo da BHAO

	2003	2005	2008	2013	CV
<b>Água</b>	130,28	266,31	359,92	189,74	41,98 %
<b>Caat. Densa</b>	4.340,77	5.075,11	5.362,54	2.026,23	36,00 %
<b>Caat. Rala</b>	9.931,66	11.184,49	12.538,55	13.319,03	12,73 %
<b>Antropizada</b>	9.990,33	8.215,90	4.927,23	9.204,09	27,54 %
<b>Vazante</b>	45,42	36,53	22,97	19,85	38,27 %
<b>Mata Ciliar</b>	120,26	122,05	180,50	88,26	30,08 %
<b>Nuvem</b>	168,14	-	905,22	36,27	153,11 %
<b>Sombra</b>	173,61	-	603,46	16,36	141,76 %
<b>Total (km<sup>2</sup>)</b>	24.900	24.900	24.900	24.900	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a Tabela 8, se reconhece que a dinâmica apresentada pelas classes de uso e cobertura do solo da BHAO variou de forma considerável nos quatro anos do estudo. Observando o Coeficiente de Variação (CV) de cada classe no período, verifica-se que as classes que possuem os maiores CV foram as que sofreram a maior influência do regime pluviométrico da região, exceção para as classes Nuvem, Sombra e Vazante. A oscilação interanual do quantitativo das áreas de Nuvem e Sombra, fez com que o CV das mesmas se apresentasse com o maior valor dentre todas as outras classes. Isso ocorreu pelo fato dessas classes se fazerem presentes em apenas três dos quatro anos de estudo, além da grande presença de nuvens e sombras no ano de 2008, o que provavelmente favoreceu a elevação no CV dessas duas classes.

Com um coeficiente de variação de 38,27%, a classe Vazante apresentou uma diminuição gradativa de sua área a cada ano analisado, implicando no elevado valor de CV apresentado. A diminuição de sua área no ano de 2008 era esperada por conta do alto índice pluviométrico nesse ano, fazendo com que as bacias hidráulicas dos reservatórios se elevassem, diminuindo dessa forma a área dessa prática. Já no ano de 2013 deveria ter ocorrido um aumento em sua área, sendo observado o contrário, a sua diminuição. Essa classe pode ser considerada como a única que não tenha sofrido influência direta do regime de chuvas da bacia, sendo esses fatores discutidos posteriormente.

A classe Caatinga Rala foi a que obteve o menor CV (12,73%) dentre todas as classes analisadas, sendo desse modo a que menor sofreu a influência da precipitação na bacia no período analisado. A mesma se manteve em tendência de crescimento constante durante o recorte temporal analisado, mesmo entre um ano considerado chuvoso e outro seco (2008 e 2013, respectivamente). O contrário foi observado na classe Caatinga Densa, que apresentou

um valor de coeficiente de variação superior, 36%. A área dessa classe foi bastante reduzida no ano de 2013, ano considerado seco, constatando que a mesma sofreu com o baixo índice pluviométrico da bacia no referido ano. Além disso, Coelho *et al.* (2014) destacam que áreas com a presença da vegetação Caatinga podem apresentar uma progressiva substituição por atividades como por exemplo agricultura ou pecuária.

Outra classe de uso e cobertura também influenciada pelo regime de precipitação pluviométrica na bacia foi a Mata Ciliar, que obteve um CV de 30,08%. Novamente se pode verificar a influência ocasionada por dois anos de extremos em relação à precipitação, 2008 e 2013. A lâmina precipitada no ano de 2008 favoreceu de forma positiva a recuperação das áreas dessa classe na bacia, ocorrendo o inverso em 2013, ano em que ocorreu uma drástica redução em sua área. Deve-se levar em conta também a degradação sofrida por essas áreas na Bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, fato esse já verificado por Sousa, Melo e Da Silva (2013), que observaram a remoção da vegetação ciliar em vários trechos ao longo do rio Jaguaribe, o que segundo os autores pode ocasionar o assoreamento e a erosão das margens do rio.

Com relação à classe Antropizada, percebeu-se uma acentuada queda em sua área no ano de 2008, favorecendo o incremento no valor de seu CV. Essa queda de área provavelmente tenha sido influenciada pela resposta da vegetação da bacia as chuvas ocorridas nesse ano, que preencheram com vegetação o solo antes exposto ou com usos característicos da classe Antropizada. Dessa forma uma área antes classificada como Antropizada pode ter sido classificada nesse ano em Caatinga Rala ou Caatinga Densa. Entretanto, é observada uma forte pressão humana sobre os recursos naturais na região semiárida do Nordeste. Assim, Ribeiro *et al.* (2008) afirmam que a ação antrópica vem provocando continuamente a degradação dos recursos naturais, ocasionando danos até irreversíveis ao meio ambiente na região semiárida.

A classe Água apresentou o terceiro maior coeficiente de variação entre todas as classes de uso e cobertura do solo da bacia, 41,98%. Comparando o regime pluviométrico dos anos de 2003 e 2013 (Figura 8), observa-se que mesmo tendo ocorrido uma menor precipitação na bacia no ano de 2013, com 453 mm, essa se fez bem distribuída ao longo desse ano. Já no ano de 2003 a precipitação total foi de 618 mm, com uma tendência de aumento nos meses de janeiro a março, e uma queda abrupta nos meses de abril a junho. A dinâmica apresentada por essa classe não é explicada apenas pelo comportamento das precipitações pluviométricas nos anos de estudo (2003, 2005, 2008 e 2013), mas também pelos anos antecedentes a esses. Pois a precipitação incidente na bacia nos anos anteriores

pode ter favorecido uma maior recarga dos reservatórios, fazendo com que o volume de água armazenado nos anos do estudo chegasse a um nível mais elevado.

A Tabela 9 apresenta o percentual da área total ocupada pelas classes e a variação percentual entre os anos do estudo. Para a classificação realizada no ano de 2003, a classe que mais se destaca em termos de área é a Antropizada, com 40,12% da área total da bacia. A segunda classe com maior área é a Caatinga Rala cobrindo 39,89% da bacia, sendo esse valor muito próximo ao obtido para a classe Antropizada. A classe Caatinga Densa ocupava nesse ano 17,43 % da bacia. As outras três classes de uso e cobertura do solo juntas somavam 1,18% da área total da bacia, sendo 0,52% para Água, 0,48% para Mata Ciliar e 0,18% para Vazante. A classe nuvem cobriu 0,68% da área da bacia e a classe sombra 0,70%.

**Tabela 9** - Percentual da área total ocupada pelas classes de uso e cobertura do solo da BHAO e variação percentual entre os anos do estudo (2003, 2005, 2008 e 2013)

	2003	Varição	2005	Varição	2008	Varição	2013
<b>Água</b>	0,52%	0,55%	1,07%	0,38%	1,45%	-0,68%	0,76%
<b>Caat. Densa</b>	17,43%	2,95%	20,38%	1,15%	21,54%	-13,40%	8,14%
<b>Caat. Rala</b>	39,89%	5,03%	44,92%	5,44%	50,35%	3,13%	53,49%
<b>Antropizada</b>	40,12%	-7,13%	33,00%	-13,21%	19,79%	17,18%	36,96%
<b>Vazante</b>	0,18%	-0,04%	0,15%	-0,05%	0,09%	-0,01%	0,08%
<b>Mata Ciliar</b>	0,48%	0,01%	0,49%	0,23%	0,72%	-0,37%	0,35%
<b>Nuvem</b>	0,68%	-0,68%	0,00%	3,64%	3,64%	-3,49%	0,15%
<b>Sombra</b>	0,70%	-0,70%	0,00%	2,42%	2,42%	-2,36%	0,07%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ano de 2003 apresentou um elevado valor da classe Antropizada, sendo esse fato um indicativo de que a BHAO apresenta uma elevada substituição na sua composição vegetal nativa. Silva, Lima e Mendonça (2014) em estudo que teve por objetivo mapear a alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas no período 2000-2010, verificaram que a maior parte da área da sub-bacia em estudo, 80% do total, apresenta acentuado antropismo com trechos altamente degradados, revelando-se essas áreas como um produto de um quadro de degradação há muito estabelecido na região.

No ano de 2005, a classe Antropizada sofreu a maior redução no ano entre todas as classes, 7,13%, indo de 40,12% em 2003 para 33% em 2005. Outra redução de área ocorrida nesse ano foi na classe Vazante, com diminuição de 0,04%, ocupando a classe nesse ano 0,15% da área total da bacia. Todas as demais classes tiveram aumentos em suas áreas, destacando-se a classe Caatinga Rala com o maior aumento, 5,03%. Essa classe passou de 39,89% em 2003 para 44,92% da área total da bacia em 2005. Já a classe Caatinga Densa



obteve um aumento de 2,95%, indo de 17,43% em 2003 para 20,38% em 2005. As outras classes ocuparam 1,07 % e 0,49% da área total da bacia, respectivamente para as classes Água e Mata Ciliar. As imagens desse ano não possuíam nuvens e sombras, por esse motivo as duas classes não foram quantificadas. Com relação à pressão humana exercida em áreas de Caatinga, Silva, Lima e Mendonça (2013) afirmam que práticas como corte da vegetação para produção de estacas, carvão, lenha para uso doméstico ou comercial e o preparo da área para a agricultura favorecem a diminuição da vegetação Caatinga na região semiárida. Nesse sentido, Pereira Filho, Silva e César (2013), colocam que o superpastejo dos ruminantes e a agricultura itinerante vêm sendo apontados como os principais fatores de degradação dos ecossistemas da Caatinga.

O ano de 2008 confirmou a tendência de aumento nas áreas das classes Caatinga Rala e Caatinga Densa. A classe Caatinga Rala sofreu um aumento de 5,44% na sua área total, indo de 44,92% em 2005 para 50,35% da área total da bacia em 2008. Dessa forma, um pouco mais da metade da área da bacia nesse ano foi classificada como Caatinga Rala. A classe Caatinga Densa apresentou um aumento de 1,15%, saindo de 20,38% em 2005 para 21,54% em 2008. As classes Água e Mata Ciliar apresentaram um aumento de 0,38% e 0,23% em suas áreas, ficando com 1,45% e 0,72% da área total, respectivamente. Já a classe Antropizada sofreu a maior redução nesse ano, 13,21%, indo de 33% em 2005 para 19,79% em 2008. Outra redução de área ocorrida nesse ano foi na classe Vazante, com uma redução de 0,05%, ficando a classe com 0,09% da área total da bacia. Nesse ano as classes nuvem e sombra cobriram respectivamente 3,64% e 2,42% da área total da bacia.

Com relação às classificações realizadas e os dados obtidos, vários fatores podem ter atuado na dinâmica apresentada pelas classes Antropizada, Caatinga Rala e Caatinga Densa para o período de estudo, sendo esses fatores fundamentais no comportamento dessas classes no ano de 2008. A presença de uma grande quantidade de nuvens em 2008 pode ter influenciado de forma negativa o quantitativo da classe Antropizada nesse ano, subestimando sua área total. Dessa forma, a variação na classe Nuvem entre um ano e outro do estudo pode influenciar de forma positiva ou negativa determinadas classes.

Nesse contexto, a ausência de nuvens influenciou de forma positiva os dados obtidos por Sousa *et al.* (2007), em estudo realizado com o objetivo de comparar o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí, nos anos de 2004 e 2005, para o período chuvoso e seco, respectivamente, através do processamento de imagens de satélite. Nesse estudo, foi observado que a classe antropizada ocupava cerca de 10,8% da área da bacia em 2004, passando este valor para 18,1% em 2005, apresentando a mencionada classe um

aumento de 68%. Segundo os autores, este expressivo aumento pode ter ocorrido pelo fato das imagens de 2005 estarem praticamente livres da presença de nuvens, contribuindo para a contabilização desta classe. No referido estudo, a classe nuvem ocupou 18,1% da bacia em 2004 contra 1,1% em 2005.

Outro fator que merece destaque no ano de 2008 é a precipitação total ocorrida na bacia, 932 mm, que pode ter influenciado de forma positiva os incrementos tanto para a classe Caatinga Rala como para a classe Caatinga Densa. Com relação à resposta exercida pela vegetação ao regime pluviométrico em regiões semiáridas, Cunha *et al.* (2012) colocam que a cobertura vegetal em áreas secas está altamente correlacionada com a precipitação pluviométrica, motivo pelo qual é de se esperar que os anos que apresentaram um maior índice pluviométrico antes da passagem do sensor sejam exatamente os que apresentam maior aumento da cobertura vegetal. Ainda segundo o autor, as regiões de clima semiárido apresentam vegetação mais susceptível a mudanças, respondendo rapidamente à presença ou falta de chuvas.

Nesse sentido, Batista e Santos (2011) afirmam que em regiões semiáridas, estudos da mudança de uso e cobertura do solo através de imagens de satélite, em períodos não muito longos, mostram que a sazonalidade pode apresentar mais influência nas mudanças das classes de uso e cobertura do solo de uma determinada área, do que propriamente a distância temporal entre os anos analisados.

No ano de 2013 foi observado o maior aumento e a maior redução na área de uma classe em todo o período de estudo. Nesse ano a classe Antropizada obteve um aumento de 17,18%, saindo de 19,79% em 2008 para 36,96% em 2013. Já a classe Caatinga Densa sofreu uma redução de 13,40% em sua área, saindo de 21,54% em 2008 para 8,14% em 2013. A classe Caatinga Rala, elevou sua área em 3,13%, saindo de 50,35% em 2008 para 53,49% em 2013, abrangendo mais da metade da área total da bacia. As demais classes obtiveram decréscimo de 0,68%, 0,01% e 0,37%, respectivamente para Água, Vazante e Mata Ciliar. Nesse ano, a classe nuvem cobriu 0,15% da área total da bacia e a classe sombra 0,07%.

Sendo uma das principais características da vegetação Caatinga, a caducifolia pode influenciar diretamente na identificação das classes de uso e cobertura do solo em regiões semiáridas. Com a queda das folhas dessa vegetação na época seca do ano, o solo permanece exposto por certo período de tempo, alterando os valores de reflectância na faixa do espectro eletromagnético, apresentando assim o comportamento espectral de solo exposto. Dessa forma, uma área com predomínio de vegetação Caatinga, na época seca do ano poderá ser classificada como solo exposto, sendo então enquadrada na classe Antropizada. Ao

observar alterações nas áreas das classes entre os anos de estudo, Sousa *et al.* (2007) afirmam que o fato da vegetação nativa da área em que o seu estudo foi realizado ser constituída, em maior parte, por caatinga hiperxerófila, que tem por características a queda das folhas no período seco, faz com que estas áreas reflitam na imagem características de reflectância de solo descoberto, ou seja, podem se apresentar em um tom característico de antropização.

O contrário pode ser verificado em trabalhos como o de Batista e Santos (2011), que realizaram estudo visando a análise do uso e ocupação do solo do município de Teofilândia-BA. O autor verificou alterações nas classes entre os anos, onde áreas da classe solo exposto passaram a ser classificadas no ano seguinte como pastagem e Caatinga. Segundo o autor, essas alterações ocorreram porque a vegetação que estava seca e senescente, classificada anteriormente como solo exposto, brotou e floresceu tornando as áreas com vegetação verde, alterando dessa forma os valores de reflectância devido a atuação da clorofila nas plantas.

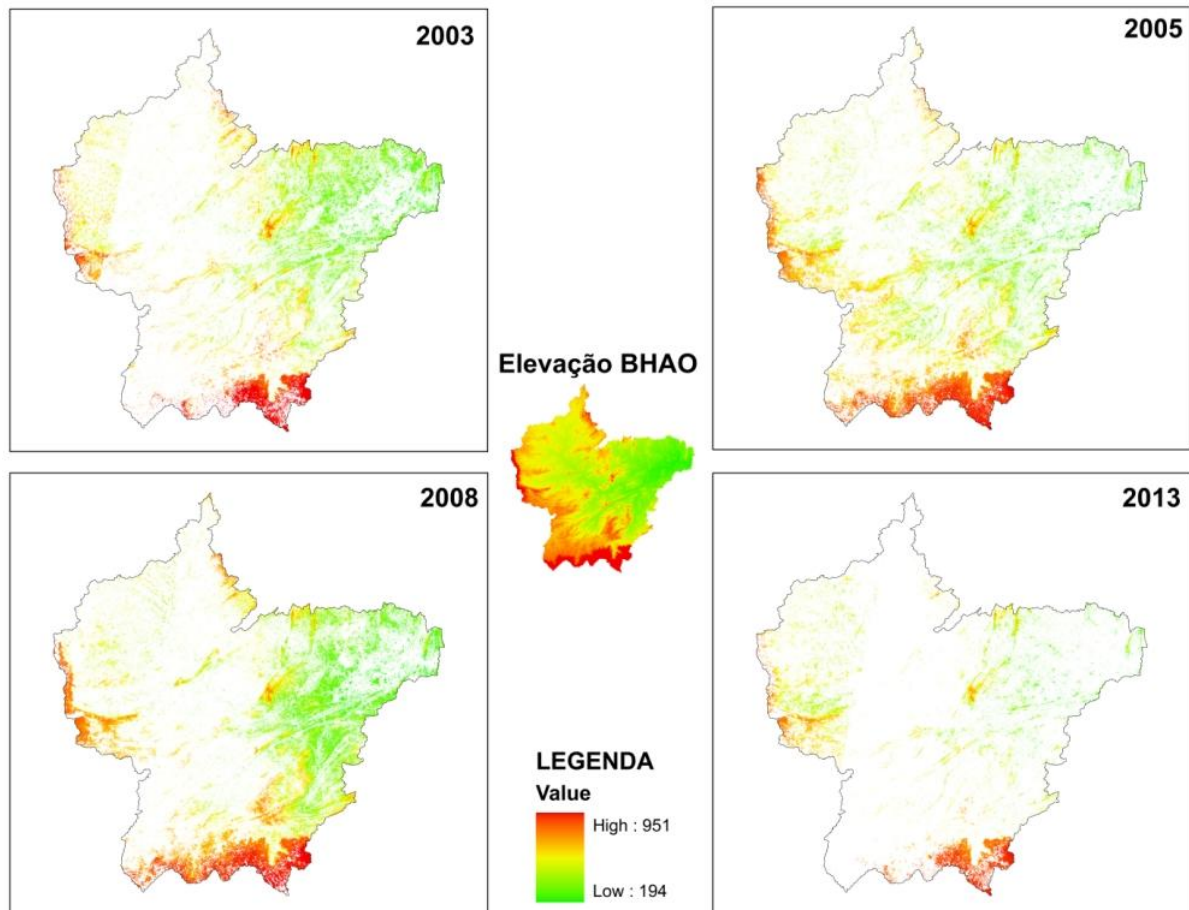
Porém, deve-se destacar que áreas anteriormente classificadas como Antropizada podem sofrer uma regeneração natural e posteriormente serem classificadas como Caatinga rala, podendo o contrário também ocorrer. Dessa forma, existe um limiar entre essas duas classes, que dependendo da pressão sofrida, ocorrerão permutas de áreas entre estas.

Também foi observado que algumas áreas remanescentes da classe Caatinga Densa continuavam presentes em regiões de altitude elevada (maior que 250 metros) ao longo do período de estudo. Ao analisar a Figura 10, verifica-se na região sudeste da bacia a presença dessa classe, mesmo que em pequena quantidade no ano de 2013, ano com baixa precipitação total anual. Dessa forma, o comportamento dessa classe em áreas elevadas pode ser influenciado não apenas pela precipitação anual na bacia, mas também por fatores de ordem topográfica. Sobre a influência que a topografia do terreno exerce na vegetação de uma determinada área, Bispo, Valeriano e Kuplich (2010) verificaram a correspondência entre determinados padrões topográficos e algumas classes de vegetação da Caatinga na Reserva Particular do Patrimônio Natural da Serra das Almas – CE. Os autores observaram que algumas classes se mostraram condicionadas pela elevação, como a classe Caatinga Arbórea-Arbustiva e Caatinga Herbáceo-Lenhosa, restritas aos terrenos mais baixos da reserva. O contrário foi observado nas classes Complexo Arbóreo, Mata Seca e Caatinga Florestada que se mostraram restritas às maiores altitudes.

Além do fator topográfico influenciando a presença dessas classes em áreas elevadas, outros fatores também se tornam fundamentais, como a limitação que a elevação exerce nas ações antrópicas e os microclimas existentes nessas áreas. Silva *et al.* (2014) em

estudo que objetivou determinar a riqueza e a composição da vegetação Caatinga em áreas com diferentes níveis de altitude na região semiárida brasileira, observaram que a variedade de espécies aumentou com a elevação, e a menor variedade de espécies foi associada com áreas de menor elevação, onde ocorria um domínio das ações humanas. Dessa forma os autores concluíram que dois fatores são responsáveis pelo aumento da diversidade da vegetação Caatinga em altitudes mais elevadas: a redução da pressão humana, devido ao acesso reduzido a essas áreas e um maior número de microhabitats úmidos que favorecem o desenvolvimento dessa vegetação.

**Figura 10** - Classe Caatinga Densa com relação a altitude da BHAO



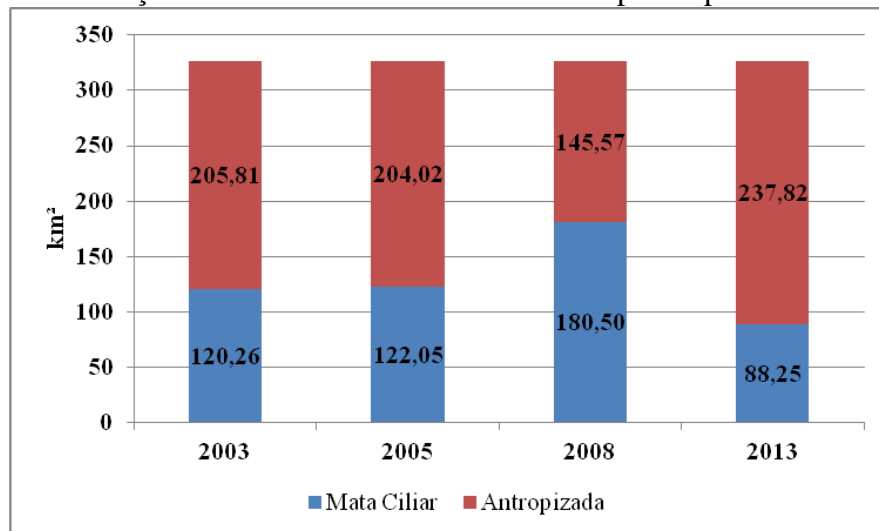
Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro fator que merece destaque no desenvolvimento da vegetação Caatinga em regiões mais elevadas é a ocorrência de precipitações orográficas. Essa disponibilidade hídrica fará com que ocorra o desenvolvimento da vegetação nessas regiões, sendo ela causada pela disposição orográfica, com serras e chapadas mais altas interceptando as frentes

mais úmidas, recebendo mais chuva que o entorno e criando zonas pouco chuvosas a sotavento. (SAMPAIO, 2010).

A área total destinada para Mata Ciliar (APP) de acordo com a legislação vigente, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, para os rios e reservatórios levantados da BHAO é de 326,07 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 1,31% da área total da bacia. No entanto, no ano de 2003 a área total de Mata Ciliar que se apresentava efetivamente com presença de vegetação totalizava 120,26 km<sup>2</sup>. O restante da área correspondia à classe Antropizada, com 205,81 km<sup>2</sup> da área total, destacando-se assim o elevado grau de degradação da área de mata ciliar da bacia. Em 2005 ocorreu um aumento na vegetação dessa classe na bacia, que passou a ocupar nesse ano uma área de 122,05 km<sup>2</sup>. No ano de 2008 o incremento em área foi ainda maior quando comparado com o período anterior. Nesse ano a vegetação da Mata Ciliar ocupou uma área total de 180,50 km<sup>2</sup>. Já em 2013 foi observada uma redução acentuada na vegetação da área de Mata Ciliar da bacia, ficando a área nesse ano com 88,25 km<sup>2</sup> efetivamente coberta com vegetação. A Figura 11 apresenta o comportamento da Mata Ciliar ao longo do período de estudo.

**Figura 11** - Alteração da área de Mata Ciliar na BHAO para o período de 2003 - 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos dados apresentados, constata-se que essas áreas se apresentam com elevado grau de degradação por conta da supressão da sua cobertura vegetal. Observa-se assim que ocorre uma oscilação das áreas que estão em conformidade com a legislação vigente entre os anos de estudo, porém esses números encontram-se entre 88,25 km<sup>2</sup> e 180,50 km<sup>2</sup> da área total destinada a essa classe.

Por ser composta pela vegetação Caatinga, a classe Mata Ciliar apresentou a mesma dinâmica identificada nas classes Caatinga Densa e Caatinga Rala ao longo do período de estudo, sendo também influenciada pela precipitação ocorrida na bacia. Observou-se que o ano de 2008 foi o único em que a vegetação presente nessa área se apresentou superior às áreas Antropizadas na classe Mata Ciliar, indicando a resposta da vegetação à maior precipitação pluviométrica ocorrida na bacia em relação aos outros anos de estudo. Outro fator que deve ser considerado é a data da aquisição das imagens. Embora todas tenham sido obtidas (imageadas) no segundo semestre dos anos de estudo, a de 2008 foi imageada em agosto, mês mais próximo do término do período chuvoso da região (maio). Dessa forma as informações coletadas pelo sensor Thematic Mapper (TM) nesse mês podem ter sido influenciadas pela proximidade com o período chuvoso.

A utilização das áreas de Mata Ciliar para outros fins ocorre por conta da disponibilidade hídrica encontrada nessas regiões da bacia, fazendo com que o uso das áreas próximas aos rios e reservatórios sejam áreas preferenciais para a realização de atividades humanas como, por exemplo, agricultura, pecuária e extrativismo vegetal, aumentando assim a pressão sobre os recursos naturais dessas áreas.

Com relação à fauna presente na bacia, Freitas *et al.* (2013) afirmaram que dentre suas diversas funções a mata ciliar apresenta grande importância para conectar fragmentos florestais, ou seja, como corredor ecológico. Assim, caso estivesse em conformidade com a legislação vigente, a maioria dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica estariam conectados.

Deve-se destacar também o eficiente papel que essa vegetação exerce evitando a degradação dos recursos hídricos da bacia. Para Castelle e Johnson (2000), a chuva interceptada pela vegetação da mata ciliar antes do contato com a superfície do solo é mais propensa a se infiltrar ou evaporar, diminuindo assim o escoamento superficial, e conseqüentemente reduzindo o volume e o pico de escoamento das águas pluviais. Ainda segundo os autores, essa vegetação limita o processo erosivo nessas áreas, além de favorecer a retenção desses sedimentos.

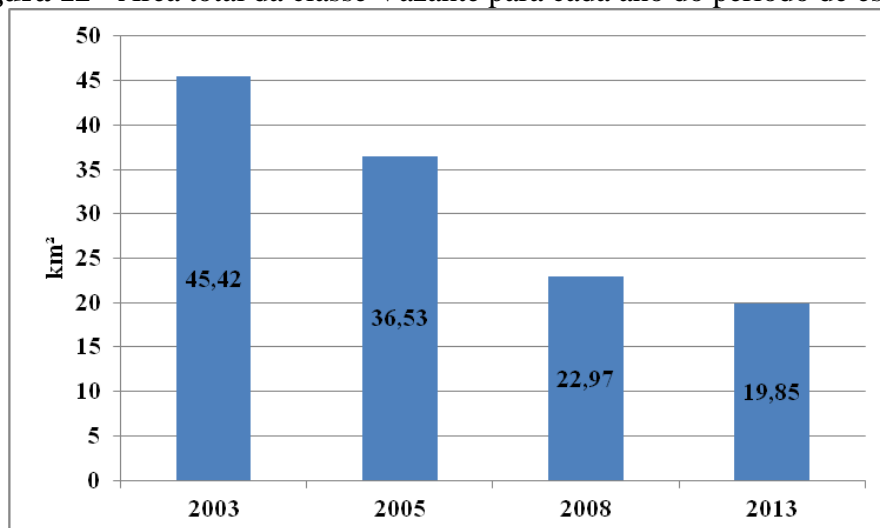
Esses dois benefícios proporcionados pela vegetação da Mata Ciliar, infiltração e retenção de sedimentos, se tornam muito importantes em regiões de clima semiárido. A maior oportunidade de infiltração proporcionada pela vegetação irá fazer com que ocorra uma maior recarga no lençol freático dessa região, fornecendo água por um período de tempo maior. Efeito observado por Vanzela, Hernandez e Franco (2010), onde afirmam que as áreas de matas são mais protegidas e estáveis, com maior capacidade de infiltração e armazenamento

de água no solo, aumentando assim o tempo de caminhamento da água ao leito do manancial. Já a retenção de sedimentos diminuirá o assoreamento de rios e reservatórios ao longo do tempo, que segundo Araújo (2003) nas regiões semiáridas onde o abastecimento hídrico depende em grande parte das águas superficiais acumuladas em reservatórios, a taxa média de assoreamento dessas infraestruturas é de 1,85% a cada década.

Queiroz *et al.* (2010), em estudo que verificou a influência do uso do solo na qualidade da água da microbacia hidrográfica da Sanga Mandarin, Cascavel-PR, reconheceram a importância da preservação da Mata Ciliar, pois segundo os autores ela diminui e filtra o escoamento superficial, impedindo ou minimizando o carreamento de sedimentos e nutrientes para o sistema aquático, contribuindo, dessa forma, para a manutenção da qualidade e quantidade de água nas bacias hidrográficas.

Com relação à classe Vazante, ao analisar a Figura 12 observa-se uma tendência de redução da área em que essa prática é realizada a cada ano na bacia. No ano de 2003 essa prática foi realizada numa área de 45,42 km<sup>2</sup> (0,18%) da bacia. No ano de 2005, a classe sofreu um decréscimo de 8,89 km<sup>2</sup>, ocupando 36,53 km<sup>2</sup> (0,15%) da bacia. Em 2008 ocorreu a redução mais acentuada na área dessa classe para o período de estudo, 13,56 km<sup>2</sup>, passando a classe a ocupar 22,97 km<sup>2</sup> (0,09%). Já em 2013 ocorreu uma redução de apenas 3,12 km<sup>2</sup> na área de Vazante da bacia, logo a área total da classe nesse ano foi de 19,85 km<sup>2</sup> (0,08%).

**Figura 12** - Área total da classe Vazante para cada ano do período de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

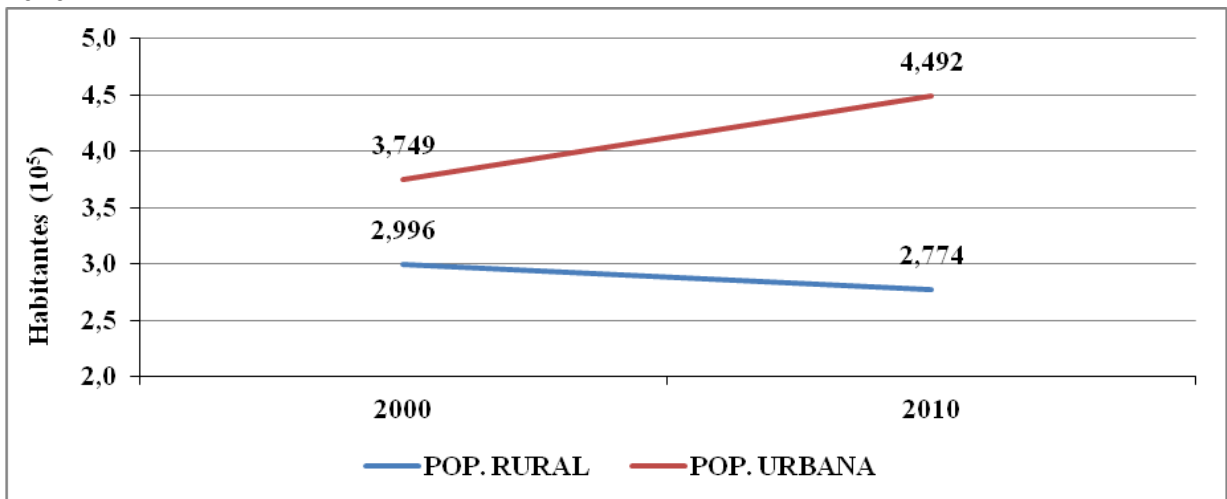
A dinâmica apresentada nas áreas de vazante deveria estar relacionada a ocorrência de precipitações pluviométricas na região, onde anos com elevados índices pluviométricos diminuiriam consequentemente a área dessa classe pelo fato de ocorrer recarga

nos reservatórios, que aumentaria dessa forma a bacia hidráulica dos mesmos. Porém se observa uma tendência de queda na realização dessa prática na bacia durante o recorte temporal analisado mesmo em anos secos. Nos anos secos a diminuição das áreas de Vazante pode estar relacionada ao maior custo de produção proporcionado pelo rebaixamento da bacia hidráulica do reservatório, implicando no aumento das despesas de bombeamento da água (bombas, tubulações, energia, etc.).

Outro fator diz respeito à qualidade da água do manancial, onde em anos secos ocorre uma diminuição da sua qualidade. Essa problemática foi observada por Meireles, Frischkorn e Andrade (2007), em estudo que avaliou a dinâmica da água do reservatório Edson Queiroz, Santa Quitéria-CE. Os autores observaram que o crescimento das concentrações dos sais, medida pela condutividade elétrica (CE), e dos cloretos (Cl<sup>-</sup>), correspondiam a ocorrência da redução do volume do reservatório.

Para tentar explicar essa tendência de redução da área de vazante na bacia foi levantada a população total das cidades inseridas na bacia (26 ao total) para o período 2000-2010 (Figura 13), sendo verificada uma redução da população residente na zona rural desses municípios e aumento da população residente na zona urbana. Esse fato pode explicar a diminuição da atividade Vazante, por conta da menor mão de obra encontrada na zona rural, área onde se exerce preferencialmente a atividade de vazante na bacia.

**Figura 13** - Comportamento das populações urbana e rural na BHAO para o período 2000-2010



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do Anuário Estatístico do Ceará 2013 - IPECE (2013).

Apesar dos fatores mencionados poderem estar relacionados com a diminuição da área da classe Vazante ao longo do período de estudo, deve-se também colocar que essa



tendência possa estar relacionada com o abandono gradativo e a falta de interesse por parte dos produtores em realizar essa prática. Outras atividades mais rentáveis e menos laboriosas ou até mesmo auxílios governamentais podem estar favorecendo essa redução ao longo do tempo dessa prática na BHAO.

### 5.3 Exatidão das classificações

A confiabilidade de qualquer mapa (uso da terra, por exemplo) está diretamente vinculada a sua exatidão, a qual indica a proximidade de uma observação ou medida de seu valor real. Nesse sentido, realizada a classificação de imagens digitais, necessita-se de algum procedimento estatístico que defina a acurácia ou exatidão desta classificação, seja ela automatizada ou visual (BERNARDES, 2006).

Nesse sentido, a partir das Regiões de Interesse (ROI) definidas na etapa de classificação das imagens, foi gerado pelo software ENVI 4.7 a matriz de confusão para a avaliação da exatidão de cada classificação realizada, resultando desse processamento a acurácia e o coeficiente Kappa. A Tabela 10 apresenta os valores de acurácia e coeficiente Kappa obtidos para a classificação dos 4 anos (4 imagens) utilizados no presente estudo.

**Tabela 10** - Valores de Acurácia e Coeficiente Kappa obtidos das classificações

Ano	Acurácia (%)	Coeficiente KAPPA
2003	95,69%	0,9390
2005	98,81%	0,9819
2008	99,15%	0,9804
2013	99,71%	0,9943

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de acurácia obtidos indicam que entre 95,69% e 99,71% dos pixels foram classificados corretamente. Todas as classificações realizadas foram qualificadas como excelentes de acordo a classificação de Landis e Koch (1977), por conta dos valores do coeficiente de Kappa se encontrarem dentro do intervalo 0,8 a 1.

## CONCLUSÃO

A sazonalidade climática presente na bacia influenciou de forma direta as classes de uso e cobertura empregadas nessa pesquisa. Uma maior precipitação pluviométrica ocorrida na bacia favoreceu o incremento das áreas das classes Caatinga Rala e Caatinga Densa, sendo observado o contrário nas áreas da classe Antropizada. Essa dinâmica foi provocada pela resposta da vegetação da região às precipitações pluviométricas ocorridas na bacia. Assim, as modificações ocorridas durante o período analisado não são resultantes apenas das intervenções humanas no ambiente, mas também dos fatores climáticos. Dessa forma, deve-se levar em conta também a época em que as imagens foram geradas para que se evite ou amenize a influência do clima na classificação das imagens.

Outro fator determinante na dinâmica apresentada está relacionado com a fisiologia da vegetação da região (caducifólia da Caatinga), que na época seca do ano modifica o cenário da bacia, implicando dessa forma na mudança do comportamento espectral dos alvos. Portanto, uma determinada área pode ser classificada na época chuvosa como vegetada, sendo posteriormente classificada na época seca do ano com uma área Antropizada.

A presença da classe Caatinga Densa em regiões mais elevadas está relacionada à dificuldade que essas áreas impõem a ação humana. Outro fator que influencia o desenvolvimento da vegetação nessas áreas é o microclima presente em regiões elevadas, além da possível ocorrência de precipitações orográficas. Observou-se ainda que o uso do solo da região ocorreu de forma inadequada, visto o alto grau de degradação das áreas de Mata Ciliar, áreas essas muito importantes para a conservação dos recursos hídricos da bacia.

Embora as técnicas de sensoriamento remoto se apresentem como uma importante ferramenta por facilitar o levantamento das classes de uso e cobertura do solo, entende-se que em regiões onde a vegetação apresenta características de caducifólia, como por exemplo a Caatinga, deve-se levar em conta a sazonalidade climática, pois esse fator influencia diretamente o levantamento das classes de uso e cobertura do solo presentes nas regiões da Caatinga.

A classificação supervisionada realizada pelo método da máxima verossimilhança (MAXVER) foi capaz de identificar de forma eficaz as classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do açude Orós (BHAO).

A utilização das imagens dos satélites Landsat 5 - TM e Landsat 8 - OLI permitiram o levantamento das classes de uso e cobertura do solo da BHAO, atendendo as necessidades de pesquisas dessa natureza.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. R. C. Bacia hidrográfica: Unidade de planejamento ambiental. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.4, n.4, p.201 – 209, 2012.
- ALEMAYEHU, F.; TAHA, N.; NYSSSEN, J.; GIRMA, A.; ZENEBE, A.; BEHAILU, M.; DECKERS, S.; POESEN, J. The impacts of watershed management on land use and land cover dynamics in Eastern Tigray (Ethiopia). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, p. 192–198, 2009.
- ALMEIDA, A. Q.; DE MELLO, A. A.; NETO, A. L. D.; FERRAZ, R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 306-315, 2014.
- ALVES, J. M. B.; SOUZA, E. B.; REPELLI, C. A. Principais secas ocorridas nesse século no Estado do Ceará: uma avaliação pluviométrica. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia e III Congresso da FLISMET, 1998, Brasília-DF. **Anais...Brasília**: CBM, 1998.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H, de A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Org.). **O SEMIÁRIDO e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza: Imprensa Universitária - UFC, 2010.cap. 3, p. 71-94.
- ANTUNES, M. A. H.; FREIRE, R. M. B.; BOTELHO, A. S.; TONIOLLI, L. H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6S. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais... Belo Horizonte**: CBC, 2003. 6p.
- ARAÚJO, J.C. Assoreamento em Reservatórios do Semiárido: Modelagem e Validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.2, p. 39 – 56. 2003.
- ARRAES, F. D. D. **Dinâmica do balanço de energia na bacia hidráulica do açude Orós e suas adjacências**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 119-127, 2012.
- BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R. L. Análise da dinâmica do uso e ocupação da terra em pequenos municípios baianos do semi-árido brasileiro: o caso de Teofilândia. **Revista de Geografia Norte Grande**, v. 49, p. 139-155, 2011.
- BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R. L. A caracterização do uso e ocupação do solo de uma zona semiárida entre 1993 a 2008 através da classificação supervisionada Maxver: o caso do município de Teofilândia, Bahia (BA)-Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, v. 54 n. 1, p. 99–111, 2013.
- BATISTA, J. L. O.; SILVA, A. B.; SANTOS, R. L. Procedimentos metodológicos para o mapeamento da cobertura e uso do solo da carta SC-24-Z-C-I-3, utilizando geotecnologia. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2010, Recife. **Anais... Recife**: SBCGTG, 2010.

BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica**, 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

BERTOSSI, A. P. A.; CECÍLIO, R. A., NEVES, M. A., GARCIA, G. O. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo. **Revista Árvore**, Viçosa , v. 37, n. 1, fev. 2013.

BEZERRA, A. F. M.; BECKER, V.; MATTOS, A. Balanço de massa de fósforo total e o estado trófico em reservatórios do Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 12, p. 67–76, 2014.

BEZERRA, J. M; MOURA, G. B. A.; DA SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 18, n. 1, 2014.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, maio 2010.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v. 5, n. 5, 2009.

CABRAL, S. L.; CAMPOS, J. N. B.; SILVEIRA, C. S.; LEMOS, W. E. D.; PORTO, V. C. Análise da modelagem dinâmica da precipitação em uma bacia hidrográfica no semiárido. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves, RS. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 2013. v. 1.

CASTELLE, A. J.; JOHNSON, A. W. **Riparian vegetation effectiveness. Technical Bulletin of the National Council for Air and Stream Improvement**, Research Triangle Park, North Caroline, v.799, 26p, 2000.

CASTRO, A. S.; CAVALCANTE, A. **Flores da caatinga**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2010. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/~webdir/salomao/livros/flores.pdf>>. Acessado em: 12 abr. 2015.

CHU, P. S. Diagnostic studies of rainfall anomalies in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review** v. 111, n. 8, p. 1655–1664. 1983. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493%281983%29111%3C1655%3ADSORAI%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 01 fev. 2015.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200005&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200005&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 11 jan. 2015.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; NETO, A. R.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia

hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 18, n. 1, jan. 2014.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Sistema de Apoio ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SAGREH 2015) – Ficha Técnica Açude Orós**. 2015.

COLPAERT, A. Introduction: The 12th International Circumpolar Remote Sensing Symposium, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 27, p. 1-3, 2014.

COSTA, C. A. G.; Teixeira, A. S.; ANDRADE, E. M.; LUCENA, A. M. P.; CASTRO, M. A. H. Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 222-230, 2010.

COSTA, T. C. E. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, L. M. T.; OLIVEIRA, M. A. J.; GUIMARAES, D. P. Interação de fatores biofísicos e antrópicos com a diversidade florística na indicação de áreas para conservação do bioma Caatinga. **Sociedade & natureza**, v. 21, p. 19 – 37, 2009.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; DA SILVA, B. B.; CHAVES, I. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, maio 2012.

DOMBROSKI, J. L. D.; PRAXEDES, S. C.; DE FREITAS, R. M. O.; PONTES, F. M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, v. 77, p. 430 – 434, 2011.

EEA - European Environment Agency. **Corine Land Cover**. Copenhagen, DK: Commission of the European Communities, 1994. 94 p. Disponível em: <[http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover/at_download/file)>. Acesso em: 9 jan. 2015.

TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. **Geotecnologias e geoinformação**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1. 248p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Land Degradation Assessment in Drylands**. Roma, 2013. 83 p. Disponível em <<http://www.fao.org/3/a-i3242e.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Recursos Naturais: O desafio da escassez e mudança climática**. Roma, 2010. 2 p. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/012/i0765pt/i0765pt13.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Watershed management field manual: Watershed survey and planning**. Roma, 1990. 148 p.

FERANEC, J.; HAZEU, G.; CHRISTENSEN, S.; JAFFRAIN, G. Corine land cover change detection in Europe (case studies of the Netherlands and Slovakia), **Land Use Policy**, v. 24, n. 1, p. 234–247, 2007.

FERNANDES, F. B. P. **Disponibilidade hídrica para a cultura do feijão-de-corda em função do manejo de solo no Semiárido Cearense**. 2014. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FERREIRA, C. S. **Avaliação Temporal do Uso e Ocupação das Terras na Porção Setentrional da Bacia Hidrográfica do São Bartolomeu**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FERREIRA, M. M.; SANTOS, S. L. M.; COSTA, A. B.; PEDROSA, D. L. R.; FREITAS, R. S. **O uso do SIG, para a gestão e monitoramento ambiental de Bacias Hidrográficas em Porto Velho - O Caso do Igarapé Belmont - Porto Velho-RO**. In: 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina, 2009, Montividéo. Anais do 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina. Montividéo, 2009.

FIGUEIRÔA, J. M.; PAREYN, F. G. C.; ARAÚJO, E. L.; DA SILVA, C. E.; DOS SANTOS, V. F.; CUTLER, D. F.; BARACAT, A.; GASSON, P. Effects of cutting regimes in the dry and wet season on survival and sprouting of woody species from the semi-arid caatinga of northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 229, p. 294–303, 2006.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160p.

FLAUZINO, F. S.; SILVA, M. K. A.; NISHIYAMA, L.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba no cerrado mineiro. **Sociedade & natureza**, v. 22, p. 75 – 91, 2010.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570–574, 2005.

FREITAS, E. P. MORAES, J. F. L.; FILHO, A. P.; STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, abr. 2013.

FROTA, P. V. **Potencial de Erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE**. 2012. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FROTA, P. V.; NAPPO, M. E. Processo erosivo e a retirada da vegetação na bacia hidrográfica do Açude Orós-CE. **Revista GeoNorte**, v. 4, p. 1472-1481, 2012.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Postos Pluviométricos**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorológico/572-postos-pluviométricos>>. Acesso em: 08 dez. 2014.

GALHARTE, C. A.; VILLELA, J. M.; CRESTANA, S. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, fev. 2014.

GIBSON, P. J. **Introductory Remote Sensing: Principles and Concepts**, London, Routledge, 2000. 184 p.

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J.; PAGANUCCI, L.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; HARLEY, R. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. In: MMA; UFPE; CI; CPATSA. (Org.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação ed. Brasília. Brasília: MMA, 2004, p. 45-90.

GUERREIRO, M. J. S.; ANDRADE, E. M.; ABREU, I.; LAJINHA, T. Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 2929-2939, 2013.

GUTMAN, G.; HUANG, C., CHANDER, G.; NOOJIPADY, P.; MASEK, J. G. Assessment of the NASA–USGS Global Land Survey (GLS) datasets. **Remote Sensing of Environment**, v. 134, n. 0, p. 249-265, 2013.

HAYES, D. J.; COHEN, W. B. Spatial, spectral and temporal patterns of tropical forest cover change as observed with multiple scales of optical satellite data. **Remote Sensing of Environment**, 106, 1 - 16, 2007.

HOUGHTON, R. A.; The Worldwide Extent of Land-Use Change. **BioScience**, Vol. 44, n. 5, Global Impact of Land-Cover Change, p. 305-313. 1994.

INPE, Instituto nacional de pesquisas espaciais. Disponível em: <[http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS\\_LandSat.php](http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/ATUS_LandSat.php)>. Acesso em: 21 nov. 2014.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Anuário Estatístico do Ceará 2013**. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2013/demografia/populacao.htm>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Texto para discussão n° 76: Um retrato do semiárido cearense**, 2010. 40 p. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos\\_discussao/TD\\_76.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/textos_discussao/TD_76.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2015.

JANSEN, L. J. M.; DI GREGORIO, A. Parametric land cover and land-use classification as tools for environmental change detection. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 89–100, 2002.

LANDIS, J.R., KOCH, G.C. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-14, 1977.

- LANDOVSKY, G. S.; BATISTA, D. B.; ARAKI, H. Análise da qualidade visual da paisagem da região de Tibagi, PR, aplicando o sensoriamento remoto. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, mar. 2006.
- LEÃO, R. A. O. **Caracterização fisiográfica e simulação hidrológica em reservatórios da bacia do Jaguaribe-CE**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- LEITE, M. E. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento do uso do solo urbano e da dinâmica de favela em cidade média: O caso de Montes Claros-MG**. 2011. 121 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- LOPES, F. B. **Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil**. 2013. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- LOPES, F.; MIELNICZUK, J.; OLIVEIRA, E. S. TORNQUIST, C. G. Evolução do uso do solo em uma área piloto da região de Vacaria, RS. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande , v. 14, n. 10, out. 2010.
- LUNETTA, R. S.; EDIRIWICKREMA, J.; JOHNSON, D. M.; LYON, J. G.; McKERROW, A. Impacts of vegetation dynamics on the identification of land cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA. **Remote Sensing of Environment**, v.82, p. 258-270, 2002.
- MAIA, G. N. Caatinga: Árvores e Arbustos e suas Utilidades. 2 ed. Fortaleza, Printcolor Gráfica e Editora, 2012, 413 p.
- MARCHESAN, J.; LIPPERT, D. B.; GOERGEN, L. C. G.; NUNES, M. M. C.; SCHUH, M. S.; KERVALD, L. A.; PEREIRA, R. S. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra no município de Faxinal do Soturno-RS nos anos de 1986, 1996, 2006 e 2011 In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2013. p. 7024-7031.
- MARTINS, T.I.S.; RODRIGUES, S. C. The use of geotechnologies in the landscape fragility analysis of medium lower Araguari river basin, Brazil. **Investigaciones Geográficas**, v. 44, p. 3 – 16, 2012.
- MARTINS, A. P.; ROSA, R. Caracterização climática da bacia do Rio Paranaíba a partir de rede de estações da superfície automática do INMET (2001-2011) utilizando ferramentas de geoprocessamento. **Revista GeoNorte**, v. 2, p. 1303 – 1316, 2012.
- MATIAS, L. F. **Sistema de informações geográficas (sig): Teoria e método para representação do espaço geográfico**. 2001. 325 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semiárido cearense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, 2007.



MENDOZA, M. E.; GRANADOS, E. L.; GENELETTI, D.; PÉREZ-SALICRUP, D. R.; SALINAS, V. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 237-250, 2011.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Brasília: UNB, 2012. p. 276.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biomas. **Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em: 6 maio 2015.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), 17, 2008, **Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2008. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-7ea5f627d14a9f9a88cc694cf707236f.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n.1, p. 1–10, 2002.

MONTANHER, O. C.; PAULO, M. C. M. X-6SCORR: Conversão semi-automática de ND de imagens orbitais para FRB baseada em metadados XML e código 6S. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, p. 223-231, 2014.

NASA. National Aeronautics and Space Administration, **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**, 2000. Disponível em: <[www2.jpl.nasa.gov/srtm](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm)>. Acesso em: 26 nov. 2013.

NOVAES, W.; RIBAS, O.; NOVAES, P. C. **Agenda 21 Brasileira - Bases para discussão**. Brasília: MMA/PNUD, 2000, 196 p.

ORTEGA, D. J. P.; CARVALHO, S. L. Avaliação dos Efeitos das Atividades Antropólicas nos Recursos Hídricos na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego do Ipê - SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 97–108, 2013.

PEREIRA FILHO, J. M; SILVA, A. M. A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 77–90, 2013.

POLZIN, D.; HASTENRATH, S. Climate of Brazil's nordeste and tropical atlantic sector: preferred time scales of variability. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.29, n. 2, p. 153-160, 2014.

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

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M.; PEREIRA, M. N. Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, p. 127-135, 2007.

- QUEIROZ, M. M. F. de.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, p. 200-210, 2010.
- RANDHIR, T. O.; TSVETKOVA, O. Spatiotemporal dynamics of landscape pattern and hydrologic process in watershed systems, **Journal of Hydrology**, v. 404, p. 1-12, 2011.
- RIBEIRO, G. N.; TEOTIA, H. S.; MARACAJA, V. P. B. B.; BARROS, D. F. Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal no agreste Paraibano: Municípios de Pocinhos e Puxinanã. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 2, p. 231–244, 2008.
- RIBEIRO, R J C.; BAPTISTA, G M M.; BIAS, E S. Comparação dos métodos de classificação supervisionada de imagem Máxima Verossimilhança e Redes Neurais em Ambiente Urbano. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...**, Florianópolis, 2007. Disponível em:  
<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.03.11.59/doc/5471-5478.pdf>>  
Acesso em: 24 de nov. 2014.
- ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48.
- SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza-Barris, Sergipe. **Revista Multidisciplinar da Uniesp**, n. 10, 2010.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAMANA RAO, T. V.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 39–47, 2009.
- SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; GUIM, A.; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 39, p. 204-215, 2010.
- SEABRA, V. S.; CRUZ, C. B. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Rio São João, RJ. **Sociedade & Natureza**, v. 25, p. 411-426, 2013.
- SEXTON, J. O.; URBAN, D. L.; DONOHUE, M. J.; SONG, C. Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the Landsat-5 record. **Remote Sensing of Environment**, v. 128, n. 0, p. 246-258, 2013.
- SILVA, F. K. G.; LOPES, S. F.; LOPEZ, L. C. S.; MELO, J. I. M.; TROVÃO, D. M. B. M. Patterns of species richness and conservation in the Caatinga along elevational gradients in a semiarid ecosystem. **Journal of Arid Environments**, v. 110, p. 47-52, 2014.
- SILVA, R. M.; SILVA, L. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio Tapacurá, Pernambuco. **Sociedade & Natureza**, v. 22 , p.357–372, 2010.

SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. de. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas de 2000 a 2010. **Revista Brasilerira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, fev. 2014.

SILVA, E. C. A.; LOPES, I. S.; SILVA, J. L. Composição florística de um fragmento de caatinga do município de Itapetim, Pernambuco. **Scientia Plena**, v. 18, n. 4, 2012.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, jul. 2012.

SMITH, A. M. S.; KOLDEN, C. A.; TINKHAM, W. T.; TALHELM, A. F.; MARSHALL, J. D.; HUDAK, A. T.; BOSCHETTI, L.; FALKOWSKI, M. J.; GREENBERG, J. A.; ANDERSON, J. W.; KLISKEY, A.; ALESSA, L.; KEEFE, R. F.; GOSZ, J. R. Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v. 154, p. 322 – 337, 2014.

SOUSA, A. B.; MELO, R. A.; DA SILVA, D. F. Avaliação climática e dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (CE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1115-1140, 2013.

SOUSA, B. F. S. **Aprendizado de máquina na detecção do uso do solo no bioma Caatinga via sensoriamento remoto**, 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SOUSA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; LEÃO, R. A. O.; COSTA FILHO, A. B. Uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí através de imagens do satélite CBERS. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, p. 327-334, 2007.

SOUSA, D. C. B. **Utilização de Lógica Fuzzy e Sensoriamento Remoto no Monitoramento do Uso do Solo: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SOUZA, A. C.; FACCO, D. S. ; PIRES, C. A. F. ; BENEDETTI, A. C. P. . Mapeamento da dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Pinhal Grande - RS. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, **Anais...**, Gramado, 2014. Disponível em: <[http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/238/CT04-15\\_1404418728.pdf](http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/238/CT04-15_1404418728.pdf)> Acesso em: 20 de fev. 2015.

SOUZA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; LEÃO, R. A. O.; BASTOS FILHO, A. Uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí através de imagens do satélite CBERS. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, p. 327-334, 2007.

SRH – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Atlas Eletrônico do Sistema de Informações dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Ceará**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/atlas/map.phtml>>. Acesso em: 18 de dez. 2014.

TOLEDO, C. E. **Conectividade hidrológica em ambiente semiárido: Estudo de caso Bacia Hidrográfica do Açude Orós**. 2013. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D., ANDRADE, L. A., NETO, J. D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 307-311, 2007.

USGS–United States Geological Survey. **Imagery for Everyone: Timeline set to release entire USGS Landsat archive at no charge**. USGS Technical Announcement, Reston, 2008. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/documents/USGS\\_Landsat\\_Imagery\\_Release.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/USGS_Landsat_Imagery_Release.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2015.

USGS–United States Geological Survey. **Landsat–A Global Land-Imaging Mission**, Sioux Falls, 2013. 4 p. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3072/fs2012-3072.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, jan. 2010.

VERBESSELT J.; HYNDMAN, R.; NEWNHAM, G.; CULVENOR, D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 106-115. 2010.

VIEIRA, R. M. S. P.; CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; CARVALHO, V. C.; NETO, S. F.; SESTINI, M. F.. Land use and land cover map of a semiarid region of Brazil for meteorological and climatic models. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 28, n. 2, jun. 2013.

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

WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; MASEK, J. G.; DWYER, J.; ROY, D. P. Continuity of Landsat observations: Short term considerations, **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 2, p. 747–751, 2011.

ZANELLA, M. E.; OLIMPIO, J. L.; COSTA, M. C. L.; DANTAS, E. W. C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. **Sociedade e natureza**, v. 25, n. 2, p. 317 – 332, 2013.