



GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

**FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME**  
**Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente-GPEM**

# **Mapeamento dos Espelhos D'Água do Estado do Ceará**

**FORTALEZA/CE**

**Dezembro/2020**

## **ESTADO DO CEARÁ**

**Camilo Sobreira Santana - Governador**

## **SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**Francisco José Teixeira - Secretário**

**Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME**

**Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins – Presidente**

**Diretoria Técnica**

**Francisco Hoilton Araripe Rios - Diretor Técnico**

**Diretoria Administrativa e Financeira**

**Sandra Maria Maia Costa - Diretora**

**Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente**

**Margareth Sílvia Benício de Souza Carvalho – Gerente**

## **Equipe Técnica**

Ana Maria Lebre Soares - Geógrafa, M. Sc. em Geografia Física

Francisco Sérgio Rocha - Geógrafo

Ilná Gondim Rocha – Engenheira Civil

Manuel Rodrigues Freitas Filho. Geógrafo - Doutor em Geografia

Margareth Sílvia Benício de Souza Carvalho - Engenheira Agrônoma, M. Sc. em Agronomia/Solos

Níveo Moreira da Rocha, Geógrafo

Ticiania Rodrigues de Castro Torres - Geógrafa

## **SUMÁRIO**

### **1. INTRODUÇÃO**

### **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS**

#### **3.1 Aquisição de Imagens**

#### **3.2 Classificação de Imagens**

#### **3.3 Edição Vetorial dos Espelhos D'água**

#### **3.4 Validação do Produto Final**

#### **3.5 Utilizando o Google Earth Pro**

#### **3.6 Banco de Dados Espaciais no ArcGis**

### **4. CONDIÇÕES HIDROAMBIENTAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CEARÁ**

### **5. RESULTADOS OBTIDOS**

### **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

## 1. INTRODUÇÃO

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, através da Gerência de Estudos e Pesquisas em Meio Ambiente-GEPEM, detentora de uma experiência de vários mapeamentos temáticos, tem como meta institucional o monitoramento dos espelhos d'água (açudes e lagoas), com o propósito de subsidiar a formulação de políticas públicas e a tomada de decisão relativa à gestão dos recursos hídricos nas diversas bacias hidrográficas do Estado do Ceará, a saber: Acaraú, Alto Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Baixo Salgado, Banabuiú, Coreaú, Curú, Litoral, Médio Jaguaribe, Metropolitana, Serra da Ibiapaba e Sertões de Crateús (FIGURA 01).



Figura 01. Localização das 12 bacias hidrográficas do Estado do Ceará

O monitoramento dos espelhos d'água tem como objetivo o acompanhamento sistemático da situação da açudagem, através do mapeamento e quantificação anual dos açudes públicos e privados e das lagoas existentes. Para tanto, são utilizadas imagens de sensoriamento remoto orbital, provendo com dados espacializados as 12 (doze) bacias hidrográficas do estado do Ceará. Os processos metodológicos foram estabelecidos pela equipe executora, direcionando todas as atividades desenvolvidas no uso das geotecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Apresenta-se, de forma detalhada, toda a sistemática empregada, desde as primeiras etapas metodológicas, como coleta de material bibliográfico e geocartográfico, interpretação, classificação

digital, quantificação e edição dos produtos gerados, além de disponibilizar a posição, distribuição geoespacial e a área dos espelhos d'água das bacias hidrográficas mapeadas.

A análise dos resultados permitiu a visualização espacial e a densidade dos corpos d'água a partir dos mapas elaborados, tabelas e gráficos com a classificação por área dos açudes e lagoas assim distribuídos: 0,5 - 5; 05 - 20; 20 - 100 e >100. O referido mapeamento apoiará as demandas por informação sobre os espelhos d'água, de modo que possam ser efetivamente utilizadas como ferramenta no planejamento e na elaboração de metodologias para a gestão dos recursos hídricos no estado do Ceará.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para melhor compreensão desse trabalho são apresentadas na revisão bibliográfica, características resumidas dos projetos que geraram mapeamentos sistemáticos, com o propósito de alimentar a base de informações relativas aos reservatórios, as quais servem como instrumento básico para o gerenciamento dos recursos hídricos.

O mapeamento sistemático, na escala 1:100.000, difundido pela SUDENE/DSG/IBGE, ao longo dos anos, desempenhou suas atribuições executando centenas de cartas do mapeamento sistemático nas escalas 1:25.000, 1:50.000 e 1:100 000 e 1:250.000, necessários ao apoio de atividades de planejamento regional mapeamentos hidrológicos e geológicos e na confecção do atlas de recursos naturais. A SUDENE também contribuiu para as instalações em Olinda e Recife das estruturas de mapeamento que cobre todo o Nordeste, elaborando o primeiro mapeamento tendo como apoio básico o levantamento aerofotogramétrico realizado entre os anos de 1962 e 1974, tornando-se assim o primeiro documento cartográfico que nos permitiu fazer uma avaliação da açudagem nos diversos estados do nordeste brasileiro.

Nessa época também, foram executados trabalhos de apoio para outros setores da SUDENE incluindo: levantamentos topográficos, batimétricos, cadastro de poços tubulares com amarrações à rede de referência do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), restituições aerofotogramétricas e desenvolvidos alguns procedimentos até então pouco usados no Brasil, como por exemplo, testes de cartas, levantamentos barométricos e algumas cartas elaboradas com imagens de radar. A utilização das imagens de radar - RADARSAT-1 lançado em 1995, foram usadas pela primeira vez no Brasil (1999), para restituição e geração de cartas topográficas na escala 1:100.000, abrangendo parte dos estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Bahia, tornando-se a solução viável em virtude da alta nebulosidade durante quase todos os meses do ano nesta região, o que impedia a conclusão dos vôos fotogramétricos contratados. (SILVA, et all, 2002).

O advento das imagens orbitais teve início na segunda metade da década 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Esse programa foi inicialmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite) e em 1975 passou a se denominar LANDSAT. O LANDSAT-1 foi o primeiro satélite desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas de recursos naturais, o qual foi lançado em 1972 e levando dois instrumentos de imageamento a bordo: as câmeras RBV e a MSS. Operou por um período de cinco anos, adquirindo mais de 300.000 imagens com repetidas coberturas da superfície da Terra. De 1960 até hoje foram lançados 8 satélites da série, todos com imagens multiespectrais. Os satélites LANDSAT 1,2 e 3 (1972-1992) do sensor Thematic Mapper (TM) de 30m resolução espacial; no satélite LANDSAT-5 (1984-2011), e o sensor LANDSAT Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) de 15 a 30 m de

resolução, no satélite LANDSAT-7 (desde 1999) e do sensor OLI (Operational Terra Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) 15 a 30 metros de dados multiespectrais do LANDSAT-8 (Desde 2013). As imagens do LANDSAT-8 são ortoretificadas e todos os produtos do catálogo estão em formato GeoTIFF. (INPE, 2018)

A nova tecnologia das imagens LANDSAT-5, as quais passaram a oferecer condições para atualização de bases cartográficas e geração de diversos mapeamentos temáticos, permitiu a 3ª DL (Divisão de Levantamento) em 1987, iniciar a execução de atualizações parciais e reimpressões das cartas de maior demanda do mapeamento sistemático na região nordeste, produzido na década de 1970. (PORTUGAL,1987). A série de satélites LANDSAT, ainda mantém sua importância junto a comunidade de usuários pelo seu acervo histórico e a contínua atualização tecnológica mantendo características importantes.

O acervo cartográfico da extinta SUDENE, além da execução e coleções das cartas, inclui coleções completas de cópias de fotografias de todos os vãos contratados, fotoíndices, mosaicos, cartas de todos os tipos e cartas de edições esgotada do IBGE nas escalas 1:250.000, 1:500.000 e 1:1.000.000, levantamentos cadastrais de cidades de porte médio, cartas imagens e plantas topográficas diversas.

No Nordeste a sistematização de esforços iniciais, relacionados com a representação e o conhecimento alusivo ao espaço, proporcionaram as primeiras ações efetivas, de fato, para o enfrentamento da irregularidade pluviométrica, enquanto dificuldade a ser superada. Os projetos que almejavam a integração e autosuficiência do Nordeste, de maneira a integrá-lo em uma dinâmica econômica maior, decorreram de forma associada da possível elaboração do “Mapa de Localização dos Principais Açudes Públicos e dos Açudes por Cooperação Construídos até 31-12-1949” – IFOCS, atual DNOCS.

O registro sobre a açudagem no Nordeste até 1965 (ano médio tomado como referência) difundidos pela SUDENE, a partir do mapeamento sistemático já mencionado, seria de 16.443 o número de açudes contabilizados. Esse número não inclui os menores dentre os pequenos açudes. Os estudos estimaram que os açudes de espelho d'água inferior a 8.000 m<sup>2</sup> não aparecem nos mapas da SUDENE. Destacando-se como áreas de maior densidade, o Médio Jaguaribe, o Alto Apodi, e a bacia do Rio Piranhas, a qual incluía a Região do Seridó. (MOLLE, 1994).

Com o objetivo de analisar o crescimento da açudagem no período 1965 - 1985 e não existindo trabalho de inventário recente a nível de Nordeste, foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5 de 1985 no levantamento quase completo do estado de Pernambuco (SUDENE/DPG), bem como do Seridó (RN), Apodi(RN) e da região de Orós (CE). Observa-se neste levantamento, um impressionante crescimento na região do Agreste, de pequenos açudes e barreiros. Os números das contagens correspondentes são de 1.404 e 10.783 nas áreas acima citadas. Destaca-se também, crescimento na região do Alto Apodi (RN) e Médio Jaguaribe (CE), onde a densidade de açude atingiu valores muito grandes, da ordem de 1 açude para 2km<sup>2</sup>.

Dados fornecidos pelo DNOCS em 1988, contabilizou para o estado do Ceará, 400 açudes públicos com capacidade superior a 100.000m<sup>3</sup> e de 150 açudes com capacidade superior a 1milhão de m<sup>3</sup>, a totalidade dessas informações aponta para uma estimativa global de 450 a 500 açudes públicos de mais de um milhão de m<sup>3</sup> e um total de 1.000 a 1.500 açudes de porte superior a 100.000 m<sup>3</sup>. (MOLLE, 1994)

O conjunto desses reservatórios constitui um potencial muito mais amplo que os açudes construídos pelo DNOCS (390) e destaca o empenho cada vez maior dos próprios Estados no fortalecimento da açudagem pública.

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, já realizou vários mapeamentos dos espelhos d'água no Estado do Ceará. O primeiro, concluído em 1988, resultante do convênio realizado entre o Ministério da Irrigação e o Governo do Estado do Ceará na escala de 1:100.000, onde foi feita a identificação, o acompanhamento, o mapeamento e a quantificação das áreas dos espelhos d'água dos açudes públicos e privados e das lagoas naturais no Estado do Ceará. Neste estudo foram utilizados dados de sensoriamento remoto e técnicas de interpretação visual tendo como base imagens multiespectrais do satélite Landsat-5, em formato analógico. Este trabalho serviu de base para elaboração do mapeamento de 4.515 espelhos com área igual ou maior que 5 ha. (FUNCEME, 1988).

Entre os anos de 2000 e 2001 (FUNCEME, 2001), foram identificados, a partir de técnicas de geoprocessamento, todos os reservatórios da porção Norte do Estado com área de bacia hidráulica superior a 5 hectares.

Em 2008, o estudo realizado através de Cooperação Técnico Científica, envolvendo o Ministério da Integração Nacional - MI e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, identificou e quantificou todos os espelhos d'água do País, naturais e artificiais, com uma área superficial a partir de 20 hectares. Como ferramenta principal para o mapeamento foram utilizadas imagens do satélite Sino-Brasileiro, CBERS, por mostrarem grande potencial para a identificação visual de corpos d'água. Neste trabalho foi considerado o limiar de 20 hectares de área superficial para mapear os espelhos de todo o território nacional, gerando-se um produto final compatível com a escala 1:250.000. Para a região Nordeste do Brasil o limiar foi reduzido para 5 ha em virtude, principalmente, desta região possuir um grande adensamento de açudes. Os dados gerados por este estudo foram utilizados pelo MI (Ministerio da Integração) e ANA (Agência Nacional de Águas), como instrumento básico para o gerenciamento dos recursos hídricos. Este mapeamento contabilizou um total de 23.036 espelhos d'água distribuídos por todo o território brasileiro.

A FUNCEME concluiu o mapeamento dos espelhos d'água do Estado do Ceará para o ano de 2008, dando continuidade a sistemática do mapeamento para os anos subsequentes, com o propósito de alimentar a base de informações relativas aos reservatórios, a qual serve como instrumento básico para o gerenciamento dos recursos hídricos.

### **3. CONDIÇÕES HIDROAMBIENTAIS DAS BACIAS HIDROGÁFICAS DO ESTADO DO CEARÁ**

A questão da água no Nordeste é objeto de políticas públicas por mais de um século, de forma estreitamente associada ao problema das secas produzindo migrações e grande sofrimento para as populações. Estes fatos encontram-se amplamente documentado nos relatos de secas como as de 1877-78, 1887-90, 1915, 1919, 1932, 1958, 1970, 1981-83, 1998, 2012-2017. (SOUZA FILHO, 2018).

O Estado do Ceará abriga 12 (doze) bacias hidrográficas estabelecidas pela PERH – SRH (Plano Estadual dos Recursos Hídricos – Secretaria de Recursos Hídricos) a saber: Bacia do Acaraú, Bacia do Alto Jaguaribe, Bacia do Baixo Jaguaribe, Bacia do Baixo Salgado, Bacia do Banabuiú, Bacia do Coreaú, Bacia do Curu, Bacia do Litoral, Bacia do Médio Jaguaribe, Bacia Metropolitana, Bacia da Serra da Ibiapaba e Bacia dos Sertões de Crateús.

A política de águas teve sua motivação inicial associada a escassez quantitativa dos recursos hídricos. A proposta de solução desta deficiência foi a construção de infraestrutura de armazenamento de água, materializada no programa de açudagem iniciado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), que possibilitou a transferência de água no tempo da estação úmida para a estação seca, assim como de anos úmidos para anos secos. Outras investidas neste sentido foram programadas até a década de 50 do século passado, e, já no final da década de 60, iniciou-se a Política de Perímetros Públicos Irrigados.

Nas últimas duas décadas, aconteceram importantes mudanças sobre a questão dos recursos hídricos no País e no Nordeste em particular. A partir de 1997, o Brasil passou a contar com uma Lei das Águas, em substituição ao antigo Código das Águas. Já antes disso, dois Estados (São Paulo e Ceará) haviam promulgado suas respectivas leis estaduais de recursos hídricos. Avanços foram alcançados nos aspectos institucionais, tanto no Governo Federal quanto em vários Estados, com a criação de secretarias para cuidar da política de recursos hídricos. Em 2000, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA). Nesse contexto, criou-se uma síntese que resumisse o conhecimento e atualizasse a discussão sobre a política de gerenciamento dos recursos hídricos no Nordeste.

No Estado do Ceará, a fase atual de planejamento teve início no final da década de 70 e estabeleceu um novo estágio de desenvolvimento da política das águas, com gestão participativa e integrada dos recursos hídricos. Suas mais significativas ações foram: a criação da Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH e a criação da Superintendência das Obras Hidráulicas - SOHIDRA (integrante do Sistema SRH) em 1987; a Fundação Cearense de Meteorologia e Chuvas Artificiais em 1972, atualmente, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME e a criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH (integrante do Sistema SRH) em 1993. O gerenciamento integrado dos mananciais hídricos, visando ao aproveitamento racional, considera a bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

O espaço geográfico cearense, tem os sertões como área geográfica típica. Apresenta-se como um vasto compartimento de relevo embutido entre níveis de planaltos cristalinos ou sedimentares, com altitudes abaixo de 400m e com acentuada diversificação litológica. Como característica climática mais expressiva cabe destaque às elevadas condições de irregularidades temporo-espaciais das chuvas na depressão sertaneja. Área submetida às influências do clima semi-árido com índices pluviométricos em média, inferiores a 800 mm; coeficientes térmicos superiores a 26°C e taxas muito elevadas de evaporação e evapotranspiração, configurando balanço hídrico deficitário durante quase todo o ano. Do ponto de vista agroclimático, um fator negativo do regime hídrico da região no Bioma Caatinga, tem sido a incidência de secas induzidas na estação das chuvas. Este fenômeno conhecido como "veranico", pode persistir por meses sem chuvas. Uma condição que tem agravado o efeito dos veranicos é a perda dos estoques de água armazenada através do processo intenso de evapotranspiração. Neste particular é conveniente conhecer o espaço geográfico sujeito a este fenômeno e avaliar a intensidade de seus efeitos ecológicos e sociais.

Apesar da intermitência sazonal dos cursos d'água, toda a drenagem tem caráter exorréico, aberto para o mar, em função de paleoclimas úmidos responsáveis pela escultura prévia dos vales de grandes rios sertanejos como o Jaguaribe, Acaraú, dentre outros. O potencial hidrogeológico do semiárido é baixo em função da acentuada preponderância de rochas do embasamento cristalino. Esse potencial só adquire maior significado nos setores de bacias sedimentares intracratônicas, nas superfícies com coberturas de neoformação e nos aluviões ribeirinhos.

Ao considerar que nas bacias de rios intermitentes a disponibilidade natural de água superficial é pequena, são os reservatórios de acumulação que proporcionam a regularização interanual dos

deflúvios naturais, propiciando a disponibilização de volumes anuais constantes, a um determinado nível de garantia. Essas vazões regularizadas pelos açudes constituem, neste caso, a disponibilidade de águas superficiais. A rede de drenagem é muito ramificada, com padrões dendríticos, subdendríticos e dendrítico-retangulares, possuindo rios com regime intermitente sazonal.

No tocante às águas subterrâneas, as bacias hidrográficas que drenam o estado do Ceará, dividem-se em dois sistemas aquíferos: o das rochas sedimentares (porosos e aluviões) e o das rochas cristalinas (fissurais), que ocupam a maior parte da região. Os sedimentares se caracterizam como os mais importantes por possuírem uma porosidade primária e, nos terrenos arenosos, uma elevada permeabilidade, traduzindo-se em unidades geológicas com excelentes condições de armazenamento e fornecimento de água. Os cristalinos com “baixo potencial”, encontram-se inseridos nas rochas cristalinas, sendo as zonas de fratura, os únicos condicionantes da ocorrência de água nestas rochas. A recarga destas fraturas se dá através dos rios e riachos que estão encaixados nestas estruturas, o que ocorre somente no período chuvoso.

Ambientes de transição com tendência à instabilidade nos setores mais intensamente degradados, em muitas áreas do Ceará, como nos sertões do Médio Jaguaribe, dos Inhamuns, e Irauçuba, a degradação ambiental já atingiu condições irreversíveis exibindo marcas nítidas de desertificação.

Com o quadro fortemente impactado e a par da forte pressão exercida pela população sobre o vulnerável potencial dos recursos naturais do bioma caatinga, os problemas são sensivelmente agravados durante os períodos de secas recorrentes, necessitando do aumento da superfície hídrica para a ampliação de açudagem, visando a amenização ambiental e possibilitando uma maior diversificação das atividades rurais.

Por esse caráter irregular e imprevisível, o semiárido é, ainda, um fator fundamental de vulnerabilidade ecológica e econômica. Nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará, os açudes são fontes de abastecimento fundamentais para as populações, tanto para o abastecimento doméstico quanto para a agricultura, pecuária e outras atividades.

## **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS**

### **4.1 Aquisição de Imagens**

Para assegurar os resultados planejados para realização do mapeamento, foram levantados diversos documentos geocartográficos existentes e adquiridas imagens pelos satélites LANDSAT, Sentinel, ResourceSat e CBERS 4. Ressalta-se que as imagens são disponibilizadas gratuitamente por meio das plataformas do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e da Agência Espacial Europeia (ESA)

Após a obtenção das imagens digitais, os próximos passos consistiram em:

- a) reprojetar as imagens para os parâmetros cartográficos para a projeção UTM 24S, datum Sirgas 2000;
- b) elaboração da composição colorida RGB utilizando as bandas multiespectrais geradas por cada satélite;
- c) equalização e correção atmosférica das imagens utilizadas visando ampliar o contraste dos alvos imageados;
- d) classificação digital das imagens visando o mapeamento semiautomático dos espelhos d'água;

- e) edição vetorial;
- f) cálculo das áreas dos espelhos mapeados e
- g) geração dos dados estatísticos.

## **4.2 Processamento digital das Imagens**

Com uso dos recursos disponíveis nos softwares Sentinel Application Platform-SNAP, SPRING, ArcGIS e QGIS, foram realizadas algumas técnicas de processamento digital nas imagens de satélite selecionadas, destacando as técnicas de correção atmosférica e realce. Posteriormente foram realizados os procedimentos para o mapeamento dos espelhos d'água através da aplicação de técnicas de classificação pixel a pixel. Nesta etapa, utilizou-se o classificador máxima verossimilhança (MAXVER), o qual considera a ponderação, nas imagens selecionadas, das distâncias dos níveis digitais identificados e selecionados pelo usuário para cada classe a ser mapeada. No processo de classificação foram definidas duas classes: água e não água. O resultado da classificação foi convertido e exportado para o formato shapefile, o qual foi editado com os recursos de edição vetorial disponíveis nos software QGIS 3.4 e ArcGIS, 10.8, licença disponível na FUNCEME.

## **4.3 Edição Vetorial dos Espelhos D'água**

As regiões classificadas como água através da técnica de classificação das imagens foram convertidas para o formato vetorial shapefile. A partir de então foi iniciado nos software QGIS e ArcGIS o processo de edição vetorial tendo como plano de fundo a composição colorida das imagens de satélite. Nesta fase procurou-se verificar os parâmetros abaixo descritos:

- Observância da perfeita sobreposição da imagem utilizada;
- Contorno da bacia hidráulica do espelho d'água – açude, lagoa, etc;
- Atenção especial para não confundir os espelhos d'água com sombras de nuvens e de relevos acidentados, queimadas áreas com culturas em especial culturas irrigadas e ou outras feições;
- Inexistência de contornos retos nas extremidades e;
- Localização, em outro shape ou imagem, dos espelhos d'água cobertos parcialmente por nuvens ou sombra de nuvens.

Devido ao potencial das resoluções espacial e espectral das imagens, os polígonos dos espelhos d'água foram mapeados a partir de 0,5 ha, compatível com a escala cartográfica de 1:100.000. O contorno foi feito de modo a acompanhar em detalhe o mesmo contorno do espelho d'água existente na imagem. Foi realizada uma criteriosa conferência no sentido de serem eliminados os polígonos não relacionados a classe água e uma revisão para avaliar se todos os espelhos d'água tinham sido realmente interpretados.

## **4.4 Validação do Produto Final**

Os dados gerados foram exportados para o formato KML (Keyhole Markup Language) e posteriormente foram inseridos no Google Earth. Nessa etapa inicia-se o processamento dos dados, verificando e retificando o vetor enquanto a orientação da barragem e tipo de recurso hídrico. Essa operação possibilita fazer correções e inserções de topônimos na tabela de atributos. Para alimentar

o banco de dados as informações foram coletadas dos mapeamentos preexistentes da FUNCEME, as Cartas SUDENE e açudes monitorados pela COGERH.

#### 4.5 Utilizando o Google Earth Pro

O *Google Earth Pro* é um programa desenvolvido e distribuído pelo *Google* cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de imagens de satélite obtidas em fontes variadas. Como já havia sido previsto desde o início do trabalho, haveria casos de digitalização que não corresponderia a áreas com espelho d'água, uma vez que em algumas situações a resposta da água na imagem, confundia-se a nuvens, matas, sombras de vertentes íngremes, culturas irrigadas e até mesmo rochas, ressaltando assim, a importância da etapa de validação do trabalho. Nessa etapa de correção e validação dos espelhos, as imagens de alta resolução espacial disponíveis no *Google Earth Pro* mostraram-se de grande utilidade, uma vez que possibilitaram a comparação do objeto vetorizado a partir das imagens geradas pelos satélites utilizados no mapeamento com as imagens de alta resolução espacial, possibilitando observações mais detalhadas e possíveis correções da geometria dos espelhos d'água digitalizado.

#### 4.6 Banco de Dados Espaciais no ArcGis

Uma das principais vantagens do geoprocessamento é a criação de um banco de dados georreferenciado, de forma que as técnicas empregadas possam ser facilmente assimiladas, utilizadas e até melhoradas. O mapeamento executado para o ano de 2008, oferece a facilidade de monitorar a partir desta data, os espelhos d'água das bacias hidrográficas mencionadas, usando imagens dos satélites do ano pretendido, permitindo a realização de análises temporais e informações que podem ser muito úteis para o planejamento de ações a curto, médio e longo prazo.

A resolução espectral das imagens adquiridas permitiu a identificação visual dos corpos d'água a partir de <0,5 ha. Com o banco de dados, o estado do Ceará, passa a dispor de informações sobre a distribuição espacial dos espelhos d'água em uma base unificada de dados, permitindo o acompanhamento e avaliação de programas integrados de desenvolvimento de açudagem e irrigação no Estado do Ceará.

### 5. RESULTADOS OBTIDOS

A quantificação dos espelhos d'água, foi determinada a partir da água armazenada no corpo hídrico (açude e/ou lagoa), identificada na imagem correspondente ao ano do mapeamento. A análise dos resultados permitiu a visualização da distribuição espacial e densidade dos corpos d'água a partir de mapas, tabelas e gráficos, por área assim distribuídos: 0,5 - 5; 05 - 20; 20 - 100 e >100. No entanto, é importante salientar que, dependendo das condições climáticas locais (ano seco ou ano chuvoso), pode ocorrer uma redução ou acréscimo da massa líquida dos açudes e lagoas mapeados.

Esse mapeamento permitiu o cálculo de área de cada espelho d'água e geração de estatísticas, os quais permitirão diversos tipos de análises relacionadas a distribuição espacial e situação dos espelhos d'água, tanto a nível estadual como por bacia hidrográfica. A Tabela 01 e o Gráfico 01 apresentam os dados quantitativos resultante da integração dos mapeamentos dos espelhos d'água

realizados pela FUNCEME nos anos de 2008, 2009, 2011, 2013, 2014, 2016 e 2017. Na Figura 02 apresenta-se um mapa com a distribuição espacial dos espelhos mapeados.

Tabela 01 - Quantificação dos espelhos d'água a partir de 0,5ha nas bacias hidrográficas situadas no estado do Ceará

Bacia hidrográfica	Área (ha)				Total
	0,5 – 5	5 - 20	20 - 100	>100	
Acaraú	2.261	529	144	25	2.959
Curú	1.525	370	107	18	2.020
Serra da Ibiapaba	28	9	2	1	40
Metropolitana	3.665	911	244	55	4.875
Coreaú	536	149	53	28	766
Litoral	1.270	380	136	36	1.822
Sertões de Crateús	1.003	317	116	19	1.455
Baixo Jaguaribe	1.067	480	154	33	1.734
Médio Jaguaribe	3.564	890	225	41	4.720
Alto Jaguaribe	5.597	792	196	32	6.617
Banabuiú	4.633	1.286	289	40	6.248
Salgado	2.661	427	56	15	3.159
<b>TOTAL MAPEADO</b>	<b>27.810</b>	<b>6.540</b>	<b>1.722</b>	<b>343</b>	<b>36.415</b>

OBS: dados resultantes da integração dos mapeamentos realizados pela FUNCEME nos anos de 2008, 2009, 2011, 2013, 2014, 2016 e 2017

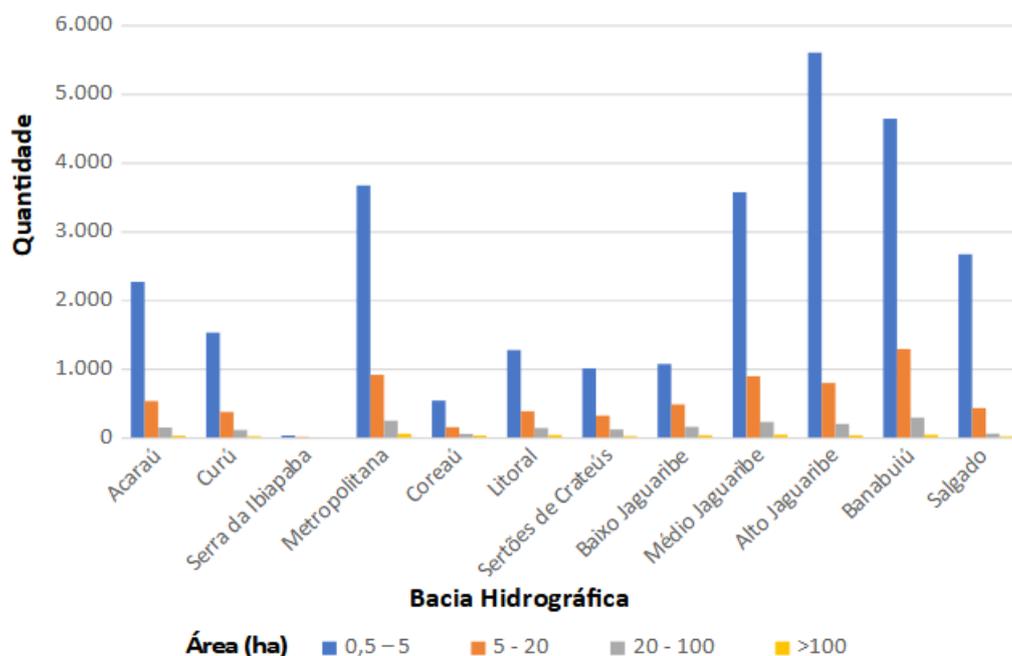


Gráfico 01 - Quantificação dos espelhos d'água por bacia hidrográfica do estado do Ceará

Diante dos resultados obtidos e em conformidade com a metodologia utilizada, conclui-se que a técnica de sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite é satisfatória para o mapeamento dos espelhos, permitindo a classificação entre espelhos naturais e artificiais.

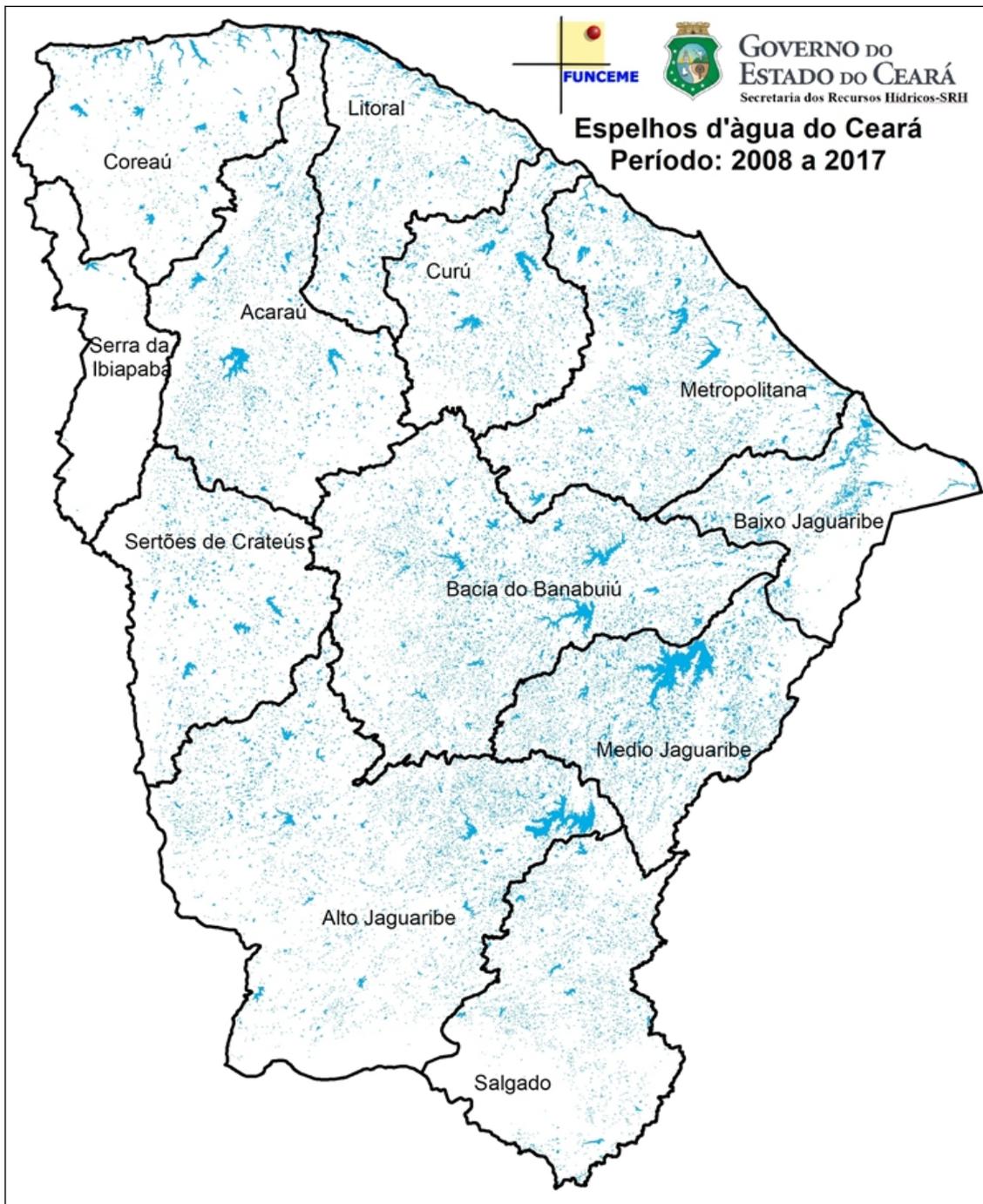


Figura 02 – Distribuição espacial dos espelhos d'água mapeados pela FUNCEME

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de dados e técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento levaram à elaboração deste estudo que mostra o comportamento da açudagem no estado do Ceará a partir do mapeamento anual das suas bacias hidrográficas, apresenta dados importantes para geração de um histórico e um banco de dados rico em informações a serem utilizadas em diversos estudos e pelas instituições que atuam na gestão dos recursos hídricos.

A importância da utilização de técnicas de sensoriamento remoto para o gerenciamento de recursos naturais é um fato consolidado no mundo das geotecnologias. As imagens orbitais têm se mostrado especialmente úteis no mapeamento e análise temporal dos espelhos d'água com área a partir de 0,5 hectares, permitindo o acompanhamento da evolução de cenários da oferta hídrica ao longo de um determinado período, informação muito útil para o planejamento e gestão dos recursos hídricos a curto, médio e longo prazo.

O mapeamento sistemático dos espelhos d'água no estado do Ceará, torna-se uma ferramenta necessária à tomada de decisão, dado aos períodos de estiagem que assolam o estado. Contudo, este mapeamento apresenta notória importância pela sua utilização como suporte ao gerenciamento dos recursos hídricos e ao planejamento de ações públicas para a mitigação dos efeitos da seca, sobretudo em regiões onde há maior vulnerabilidade diante deste fenômeno natural.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AZEVEDO, T. C. Utilização de imagens CBERS-2 para atualização da base cartográfica de recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, (SBSR) 13., 2007, Florianópolis. Anais. Santa Catarina: INPE, 2007. Artigos, p.749-753. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031

CRANDALL, Roderic. Geografia, Geologia, suprimento d'água transporte e açudagem nos estados orientais do norte do Brasil: Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. 4.ed. Mossoró, F. G. D. 1982. 131p. (Col. Mossoroense, 201; série C).

FUNCEME. Guia operacional para elaboração das cartas dos espelhos d'água do Brasil. Convênio Ministério da Integração Nacional. MI. Agência Nacional das Águas. ANA. Fortaleza. 2006.

\_\_\_\_\_. Monitoramento dos Espelhos d'Água dos Açudes do Estado do Ceará. Convênio Ministério da Irrigação/DNOS/DNOCS. Fortaleza. 3v. 1988.

GOMES, .D. D. M.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; et all. Aspectos geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Jaibaras – CE. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE

GOMES, O. F. M. Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais. Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciência de Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R.E. Digital Image Processing. 2nd edition. Prentice- Hall. Upper Saddle River – NJ, 2002.

IMAGEM ALOS. <https://aadn.asf.alaska.edu/> Acesso em: 25/10/2018

INPE. <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat> Acesso em: 18/10/2018

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) **Imagens do Satélite Alos** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/alos/> Acesso em: 18/10/2018

JENSEN, J. R.; *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Estados Unidos da America: Prentice hall, 2005 - 526 p. SBN: 0131453610.

MARTINS, E. S. P. R.; MENESCAL, R. A.; SCHERER-WARREN, M.; CARVALHO, M. S. B. S.; MELO, M. S.; PERINI, D. S.; OLIVEIRA, F. A. J. Utilização de imagens CBERS para mapeamento dos espelhos d'água do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. Anais... Santa Catarina: INPE, 2007, p.969-976.

MI/FUNCEME. Relatório Técnico: Mapeamento dos Espelhos D'Água do Brasil. Execução, Funceme. Fortaleza-Ce. Abril/2008

MOLLE, F. Marcos históricos e reflexões sobre a çudagem e seu aproveitamento. SUDENE, DPG. PRN. HME. Convênio SUDENE/ORSTOM/TAPI. (Hidrologia, 30). p. 193. Recife (Pe), 1994

PARADELLA, W.R.; OLIVEIRA, C.G.; LUIZ, S.; CECARELLI, I.C.F.; COTTINI, C.P.; OKIDA, R. Operational use of RADARSAT-1 fine stereoscopy integrated with Landsat-5 thematic mapper data for cartographic application in the Brazilian Amazon. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Vol. 31, N° 2, pp. 139–148. 2005.

PORTUGAL, J. L. Uma Metodologia para Atualização de Cartas Topográficas nas Escalas 1:100.000 e Menores com Utilização de Imagens de Satélite Landsat 5. I Encontro de Cartografia do Nordeste, Recife, 1987.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar. Ed. autor. Juiz de Fora MG: 2000. 220p.

ROSENQVIST, A.; MASANOBU, S.; NORIMASA, I; MANABU, W. ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n.11, p. 3307-3316, 2007.

SILVA, D. C da. CARNEIRO, M. C. S. M. BRAGA, A. P. G. Balanço do Plano Cartográfico do Nordeste com a Extinção da SUDENE. In Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis. 2002

SOARES, A. K. Identificação automática do grau de maturação de pelotas de minério de ferro. Dissertação (mestrado)-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, 2012. 183 f.

SOUZA FILHO, F. de A. Estudo Setorial Especial Recursos Hídricos - CEARÁ 2050 . Versão Preliminar. Fortaleza-CE, julho de 2018. 94p Acesso em: <http://www.fastef.ufc.br/portal/wp-content/uploads/2018/07/ESTUDO-SETORIAL-ESPECIAL--RECURSOS-HIDRICOS.pdf> 25/10/2018

SOUZA, M.J.N. de. Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, L.C.;

SOUZA, M.J.N. de.; Moraes, J.O. Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SUDENE. IV Plano Diretor para o Desenvolvimento Econômico e Social do Nordeste: 1969/1973. Recife : Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. 1968.

SUDENE. Catálogo das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil Escala 1:100.000. Recife : Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. 1997.