

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL¹

Use of remote sensing for mapping areas susceptible to desertification in the Brazilian semiarid region

Sônia Barreto Perdigão de Oliveira²

Margareth Sílvia Benício de Souza Carvalho³

Abdelfettah Sifedine⁴

Betina Ferraz⁵

Eduardo Sávio P. R. Martins⁶

RESUMO

Sensoriamento remoto foi utilizado para mapear e identificar o estado de degradação/desertificação de todo o semiárido brasileiro, onde estão as Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD), sendo

¹ Os autores agradecem a valiosa contribuição da equipe técnica: Raimunda Neuma da Costa Barreto, Manuel Rodrigues de Freitas Filho, Ana Maria Lebre Soares, Zilnice Maria Lebre Soares, Rousilene Silva Nascimento, Antônio Alisson Fernandes Simplício, Francisco de Assis Bezerra Leite, Denis Barbosa Lima, Sheila Cavalcante Pitombeira, João Bosco de Oliveira, Marcos José Nogueira de Souza, Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima, Vlândia Pinto Vidal de Oliveira e Jader de Oliveira Santos.

² Engenheira agrônoma, mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (1998) e pesquisadora da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). sonia@funceme.br

³ Engenheira agrônoma, mestre em Agronomia/ Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal do Ceará (UFC) e supervisora do Núcleo de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). margareth@funceme.br

⁴ Pesquisador em climatologia e mudanças climáticas pelo Institute of Research for Development (IRD). abdel.sifeddine@ird.fr

⁵ Diretoria de Desenvolvimento Sustentável do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). btferraz@gmail.com

⁶ Doutor em School of Civil and Environmental Engineering pela Cornell University, Professor Adjunto da Universidade Federal do Ceará e Presidente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). espr.martins@gmail.com

aqui utilizadas imagens do satélite Landsat 8. Caracterizada como uma região de alta vulnerabilidade ambiental, com predominância do clima semiárido, que registra uma forte pressão antrópica sobre os recursos naturais, a ASD em questão estende-se pelos 9 estados do Nordeste e mais o norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo, região com elevados índices de pobreza. Para a identificação das áreas com sinais evidentes de degradação, além dos critérios de interpretação baseado na textura, forma geométrica e resposta espectral dos alvos imageados, foram consideradas informações climáticas e socioeconômicas, mapas do uso e ocupação da terra, cobertura vegetal, sistemas ambientais e solos. Os resultados mostraram que 70.279,46 Km² dessa área já se encontram fortemente degradados sob o ponto de vista físico. Constatou-se ainda a eficiência das imagens do satélite Landsat 8 e o potencial da técnica de sensoriamento remoto no mapeamento do referido tema, mostrando um elevado grau de confiabilidade na delimitação das áreas afetadas. A partir desse estudo fica evidente a possibilidade de uma atualização periódica e estabelecimento de um plano de monitoramento da degradação das terras secas no semiárido brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Terras secas. Degradação e desertificação.

ABSTRACT

Remote sensing was used to map and identify the state of degradation/desertification of the entire Brazilian semi-arid region, where the susceptible to desertification areas (ASD) are located. For this purpose, it was used Landsat 8 imageries. This region can be characterized as an area of high environmental vulnerability, with the predominance of the semi-arid climate, which registers a strong anthropic pressure on the natural resources. The ASD in question extends through the 9 states of the Northeast and further north of Minas Gerais and north of Espírito Santo, a region with high poverty rates. In order to identify the areas with evident signs of degradation, besides the interpretation criteria based on the texture, geometric form and spectral response of the imaged targets, it was also considered climate and socioeconomic information, land use, vegetation cover, environmental systems and soil maps. The results showed that 70,279.46 km² of this area are already heavily degraded

from the physical point of view. It was also verified the efficiency of the Landsat 8 satellite images and the potential of the remote sensing technique in mapping of this layer, showing a high degree of reliability in the delimitation of the affected areas. From this study, it is evident the possibility of a periodical update and establishment of a monitoring plan for the degradation of dry lands in the Brazilian semi-arid region.

KEYWORDS: Remote sensing. Drylands. Degradation and desertification.

Submission date: 19/05/2017

Acceptance date: 07/07/2017

1 INTRODUÇÃO

As terras secas, submetidas à influência de climas áridos, semiáridos e subúmidos secos, de acordo com a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos de Seca – UNCCD, concentram 41,3% da superfície emersa do planeta e 35,5% da população global (Nações Unidas, Global Drylands). Essas terras, além de apresentarem os maiores índices de pobreza, também são afetadas pelos mais variados vetores de pressão sobre os seus recursos naturais, especialmente a água, o solo e a biodiversidade. E é principalmente nesses ambientes que ocorre o processo de desertificação, resultante da degradação da terra por consequência de vários fatores, incluindo atividades humanas e variações climáticas.

No Brasil a Área Suscetível à Desertificação (ASD) totaliza 1.348.345,78Km², que necessita de um monitoramento constante, que mostre a situação atualizada de forma rápida, econômica e com elevado grau de confiabilidade.

Este é um dos maiores desafios regionais, que é dispor de informações de qualidade sobre o estado da desertificação e seca em âmbito nacional, como um elemento básico para a tomada de decisão e a formulação de políticas.

Visando testar uma tecnologia que atendesse a esta demanda, foi usado o sensoriamento remoto e imagens de satélite para mapear os 11 estados que compõem a área especificada.

Os resultados mostraram a eficiência das tecnologias usadas para esse tipo de estudo, indicando uma ferramenta de fácil acesso e

manipulação para mapear e monitorar os processos de degradação das terras secas no Brasil e possibilitando a concepção de estratégias mais eficientes de combate à degradação, que pode ser usada para identificar os locais mais afetados, potencializar ações voltadas à melhoria da qualidade de vida de populações no semiárido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O estudo apresentado trata-se de um mapeamento, com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e imagens do satélite Landsat 8, que visa identificar áreas fortemente degradadas dentro dos limites da Área Suscetível à Desertificação no Brasil (ASD).

A escolha da técnica de sensoriamento remoto se deu pelas características da área, objetivo e tempo disponível para a obtenção dos resultados. Considerando que a região estudada compreende todo o semiárido brasileiro e áreas de entorno que também sofrem influências dos processos de desertificação, degradação e secas, (PAN-BRASIL, 2004) totalizando cerca de 20% do território brasileiro, seria necessária uma tecnologia que permitisse obter e analisar informações espaciais de grandes áreas da superfície terrestre.

O objetivo do estudo é mostrar a eficiência da técnica de sensoriamento remoto e o uso das imagens de satélite para monitorar os processos de degradação ambiental na ASD do Brasil

Pesquisadores do tema, como Sales (2002), destacam diversos estudos de áreas em processos de desertificação, sobretudo a partir da utilização de técnicas de geoprocessamento apoiadas em produtos de sensoriamento remoto. Carvalho e Lombardo (1979) publicaram “Análise Preliminar das Potencialidades das Imagens LANDSAT para Estudo de Desertificação”. O trabalho desenvolvido no Baixo-Médio São Francisco, na região de Xique-Xique, cobriu uma extensão de aproximadamente 1.300 km². Com base em interpretação visual e digital de imagens de satélite, os autores apresentam mapas temáticos (geológico, morfológico, pedológico e da cobertura vegetal), que subsidiaram a análise do ambiente, na qual definem 11 unidades ambientais e seu grau de risco à desertificação. Foi o primeiro trabalho baseado em interpretação de imagens de satélite e integração dos dados geocológicos.

Monteiro (1988) publicou os resultados de uma pesquisa realizada na região do Alto Jaguaribe. Um dos objetivos do trabalho foi experimentar a abordagem sistêmica como tratamento geográfico ao problema da desertificação. Além da caracterização geoecológica, o autor elabora de forma muito original um panorama das imbricadas relações socioeconômicas, com todas as implicações políticas envolvidas na questão da desertificação. Em última instância trata-se de uma descrição da difícil relação homem-sociedade/sociedade-natureza, localizada espacialmente nos sertões nordestinos.

O trabalho apresentado por ocasião da primeira ICID – Conferência Internacional sobre Impactos de Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável em Regiões Semiáridas –, e publicado por Leite, Soares e Martins (1993) sobre áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no Ceará - Brasil, trata do mapeamento de áreas com um nível elevado de degradação no estado indicando uma tendência à desertificação, tendo como critério a aplicação do Índice de Aridez do PNUMA, com a ocorrência simultânea da degradação dos solos e da cobertura vegetal, detectados por meio de técnicas de sensoriamento remoto, usando um Sistema de Informação Geografia (SIG). Os resultados indicaram que as áreas mais afetadas situam-se na região de Irauçuba, Inhamuns e Médio Jaguaribe. A propósito desses resultados, Conti (1995) registra a coincidência com os resultados alcançados em seu trabalho. Aí reside um fato expressivo nos estudos da desertificação no semiárido, porque, mais do que coincidência, são resultados concretos com a indicação das áreas no Estado do Ceará, já em processo de desertificação.

Sales (2002) faz uma reavaliação do núcleo de desertificação de Gilbués, no Piauí, e considera a área, do ponto de vista climático, fora das zonas suscetíveis ao fenômeno. Como contribuição pragmática, elabora o mapeamento das unidades de paisagem representativas das diferentes *fácies* da degradação ambiental local. Souza (1999) apresenta por meio do estudo da desertificação da bacia do rio Taperoá, Paraíba, uma contribuição metodológica importante para o estudo de áreas desertificadas, sobretudo quando relaciona dados de tendências de precipitação com o nível de degradação de vegetação nativa e o ritmo de sua recuperação. Lemos (1997) e Rodrigues e Viana (1997) apresentaram para o Nordeste e Ceará, respectivamente, estudos nos quais elegem algumas variáveis envolvidas

no processo de degradação, compondo indicadores que, posteriormente submetidos a modelos estatísticos de análise fatorial, indicam os municípios afetados em diferentes intensidades pelos processos de desertificação.

Algumas instituições públicas federais e estaduais, de onde se pode citar o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio da Coordenação do Plano Nacional de Combate à Desertificação e Efeitos da Seca, conduziram os estados a elaborar seus Planos Estaduais de Combate à Desertificação. Nestes, cada Estado trabalhou no diagnóstico das áreas desertificadas e no encaminhamento de soluções para a recuperação das áreas já afetadas. A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) tem realizado diversos estudos e projetos envolvendo identificação, mapeamento, zoneamento e monitoramento de áreas degradadas em processos de desertificação a partir da aplicação de geotecnologias, tais como sensoriamento remoto e geoprocessamento, apoiadas em imagens de satélites de média e alta resolução espacial. Recentemente a FUNCEME (2015a; 2015b) concluiu o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) das Áreas Susceptíveis à Desertificação no Ceará, envolvendo os Núcleos de Desertificação de Irauçuba/Centro-Norte e Inhamuns. Este trabalho foi uma iniciativa do Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) e da FUNCEME, visando a gerar um instrumento de ordenamento territorial para estas áreas vulneráveis aos processos de desertificação.

Foi realizada uma revisão geocartográfica para o embasamento dos mapeamentos temáticos e uma análise do PAN-Brasil (BRASIL, 2004), dos Panoramas Estaduais da Desertificação, do Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (BRASIL, 2007) e dos Planos Estaduais de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos das Secas, que ajudaram na caracterização e identificação de núcleos de desertificação em cada um dos onze estados brasileiros com áreas suscetíveis ao processo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS

Para mostrar a eficiência da técnica de sensoriamento remoto na identificação de áreas fortemente degradadas foi proposto o mapeamento da ASD do Brasil.

O mapeamento foi elaborado a partir da aplicação de técnicas de interpretação visual tendo como base as imagens de satélite, Modelo

Digital de Elevação SRTM, curvas de nível e outras informações cartográficas, sem checagens de campo.

As técnicas de sensoriamento remoto e seu conjunto de procedimentos permitiram a obtenção das informações e a coleta dos dados das áreas de interesse por meio dos sensores do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros. Como todo este processo tecnológico vincula-se ao tratamento, armazenamento e análise dos dados, foi possível coletar informações detalhadas dos fenômenos presentes na superfície e verificar a situação da degradação ambiental na área de estudo, principalmente relacionada ao solo e à vegetação.

Adotou-se a escala de mapeamento 1:250.000 e buscou-se identificar o nível atual de conservação das áreas suscetíveis à desertificação no semiárido brasileiro, envolvendo os estados atingidos por secas recorrentes e que possuem territórios com solos expostos e vulneráveis aos processos de desertificação.

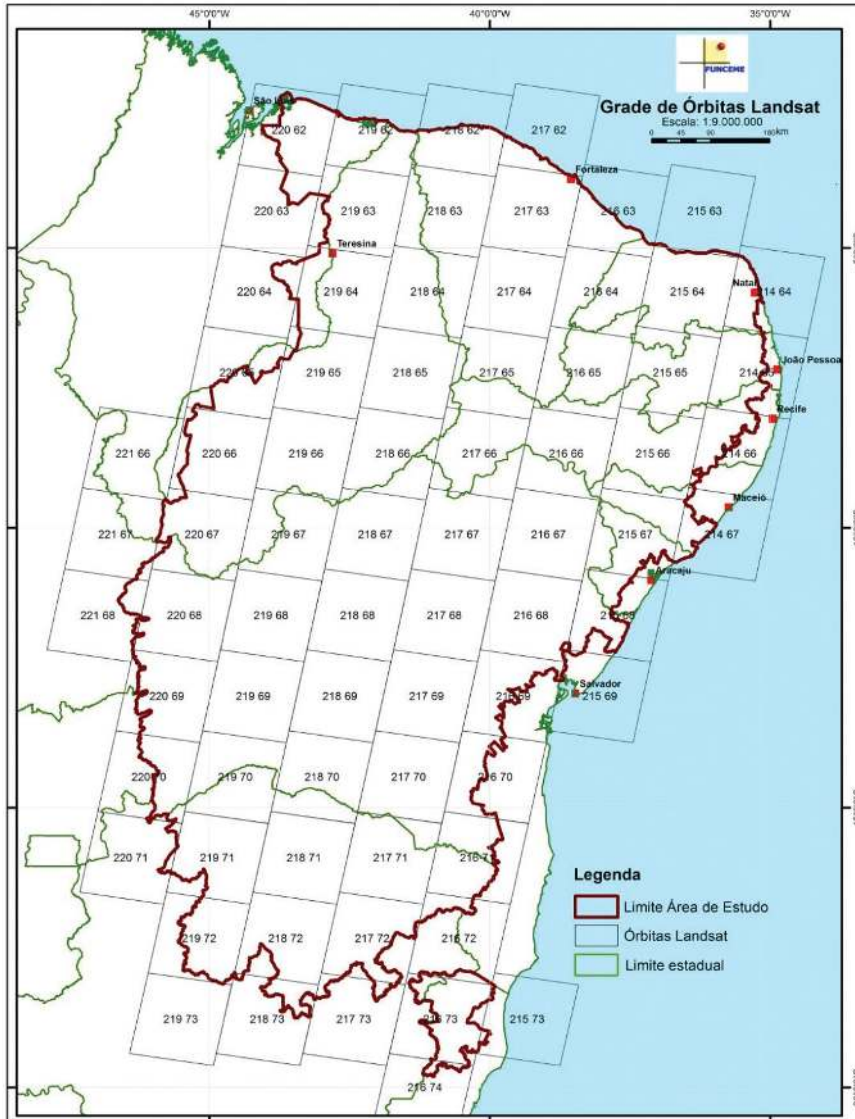
Os procedimentos operacionais foram iniciados com a elaboração e estruturação da base cartográfica no ArcGIS (licença disponível na Funceme) com detalhes com a escala 1:250.000. Parte dos dados que integraram o mapeamento básico de toda área estudada foram adquiridos no site do IBGE. Neste sentido, foram realizados *downloads* de arquivos vetoriais no formato *shapefile* das informações relacionadas à drenagem superficial, núcleos urbanos e limites municipais. No arquivo vetorial da rede de drenagem superficial constam os principais cursos d'água e nos núcleos urbanos encontram-se as informações pontuais relacionadas à localização das capitais dos estados. O arquivo vetorial referente aos limites municipais foi adquirido do IBGE (2007) e, com base nele, verificou-se que na área mapeada encontram-se inseridos 1.491 municípios. As informações espaciais referentes aos espelhos d'água foram disponibilizadas pela Funceme (2008).

As imagens utilizadas no mapeamento são oriundas do satélite LANDSAT 8, sensor espectral OIL (Operational Land Imager), resolução espacial de 30 (trinta) metros, bandas 4, 5 e 6, datadas de 2013 e 2014, disponibilizadas gratuitamente, através de *download*, pelo Serviço Geológico Americano (USGS, sigla em inglês).

A área de estudo encontra-se recoberta por setenta e três órbitas LANDSAT, conforme ilustrado na **Figura 1**. Inicialmente, para cada órbita utilizada foi realizada uma composição colorida com as bandas 6 (seis) no canal vermelho, 5 (cinco) no verde e 4 (quatro) no azul. Por meio

desta composição colorida, obteve-se uma melhor definição das formas geométricas, textura e tonalidade dos alvos imageados.

Figura 1 – Órbitas Landsat que recobrem a Área Susceptível à Desertificação do Brasil



Fonte: elaboração própria a partir do do satélite LANDSAT 8, sensor espectral OIL (Operational Land Imager). NASA (2010).

A **Figura 2** mostra a composição colorida das imagens LANDSAT 8, usadas no mapeamento deste estudo, indicando uma área intensamente utilizada pela atividade agrícola na região dos Chapadões do São Francisco-BA.

Figura 2 – Composição das Imagens LANDSAT 8 (Bahia)



Fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/citation>

Todas as imagens LANDSAT 8 utilizadas na fase de mapeamento foram reprojetaadas para o *datum* SIRGAS 2000 e o processo de interpretação visual foi realizado com uso dos recursos de edição vetorial disponíveis no *software* ArcGIS 10.

Para a identificação das áreas com sinais mais visíveis de degradação, além dos critérios de interpretação baseado na resposta espectral das imagens, deve ser ressaltado que também foram consideradas seleção e consulta de informações climáticas e socioeconômicas, mapas do uso e ocupação da terra, cobertura vegetal, sistemas ambientais e solos, para distinguir as características socioambientais de cada região.

A análise espacial das imagens de satélite possibilitou a obtenção de resultados na identificação e delimitação de ambientes com predisposição à expansão da desertificação como: solos bastante degradados com evidentes restrições ao uso; cobertura vegetal fortemente degradada pelos desmatamentos contínuos; atividades antrópicas resultantes da pecuária

extensiva, do extrativismo (vegetal e mineral) e da agricultura itinerante. Todos esses fatores propiciam e intensificam a suscetibilidade aos riscos da degradação e da desertificação.

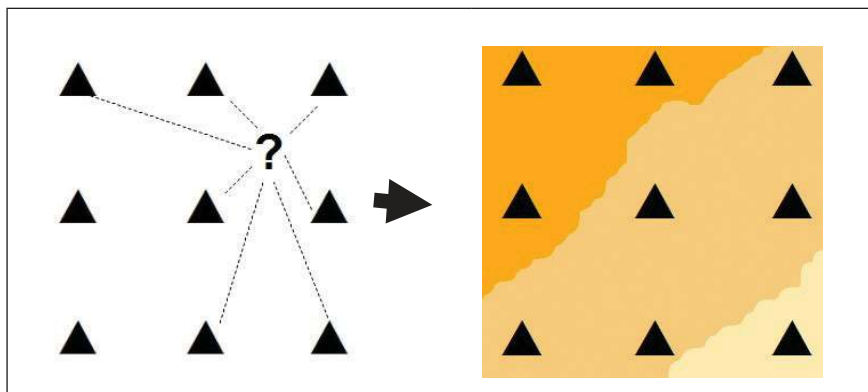
Para melhor identificar essas áreas também foram mapeados os domínios naturais inseridos na região estudada, que são definidos a partir de uma análise integrada dos temas Geologia, Relevo, Cobertura Vegetal, Solos e Uso da Terra, devidamente organizados e estruturados no SIG. As informações relacionadas aos temas Geologia e Relevo foram disponibilizadas pela CPRM através do seu banco de dados Geobank. O Relevo da área também foi analisado a partir do Modelo Digital de Elevação gerado pelo projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e disponibilizado gratuitamente pelo Serviço Geológico Americano. As informações sobre a Cobertura Vegetal e os Solos foram disponibilizadas pelo IBGE. As informações do Uso da Terra foram analisadas a partir das imagens do satélite americano LANDSAT 8. Os critérios utilizados na definição dos nomes dos domínios naturais mapeados buscaram agrupar principalmente as informações regionais do relevo.

A pluviometria média anual da área de estudo foi espacializada com base em uma grade regular de dados, elaborados pela Unidade de Pesquisa Climática (Climatic Research Unit) da Universidade do Leste de Anglia-Reino Unido. A partir desta grade de pontos, foram aplicados métodos de interpolação de dados na geração do mapa com pluviometria média anual referente ao período de 1950 a 2012. A interpolação de dados em ambiente SIG consiste na utilização de pontos com valores conhecidos para estimar valores em outros pontos desconhecidos, apresentando como resultado final os dados devidamente espacializados. O *software* ArcGIS disponibiliza aos seus usuários diversos métodos de interpolação, destacando-se o Inverso da Distância Ponderada (IDW) e a Krigagem. Na área mapeada, o método de interpolação que apresentou a melhor espacialização dos dados pluviométricos foi o da Krigagem (**Figura 3**). Cada triângulo representa uma estação pluviométrica. Para encontrar o valor de um ponto intermediário, utilizam-se os valores das estações vizinhas.

As áreas mapeadas, identificadas com níveis avançados de degradação, se apresentavam desflorestadas e fora dos padrões do sistema produtivo. Como não houve viagens de campo para verificação da verdade terrestre, a validação das informações mapeadas foi feita por uma equipe de técnicos e especialistas de cada estado envolvido que

detinham conhecimentos sobre a área mapeada, com vistas a ampliar o nível de certeza das informações apresentadas pelas imagens de satélite e pela bibliografia consultada.

Figura 3 – Método de interpolação, em ambiente SIG, dos dados pluviométricos



Fonte: CGEE, 2016.

4 MAPEAMENTO DAS ÁREAS FORTEMENTE DEGRADADAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NA ASD NO BRASIL

As modificações ocasionadas pelo processo de desertificação que sofrem as terras semiáridas, subúmidas secas e áreas de entorno, chamadas “Área Susceptível à Desertificação no Brasil”, atingem diferentes níveis de degradação.

Para identificar este fenômeno em áreas com grandes extensões territoriais foi constatado que o uso de imagens de satélite atendia a este tipo de mapeamento.

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 15 metros, composição colorida nas bandas 4, 5 e 6, tornando-se possível a geração de um mapa bem próximo da realidade terrestre, evidenciando regiões já bastante degradadas, ou seja, ambientes inteiramente transformados com modificações severas e irreversíveis, expondo evidências de desertificação.

A primeira área a ser mapeada envolveu o estado do Ceará, tendo como chave de interpretação as diferentes respostas espectrais das áreas ocasionadas pela redução da biomassa perceptíveis na imagem. A partir da interpretação visual das imagens, obteve-se o mapa que apresentava

as áreas com maior ou menor índice de vegetação. Foram feitas algumas viagens a campo para constatação dos diferentes níveis de conservação dos ambientes observados.

Em campo foram usados os seguintes parâmetros para validação das áreas mapeadas:

- Ausência ou escassez de vegetação;
- Registros de erosão laminar, em sulcos ou voçorocas;
- Ocorrência de plantas rústicas e pouco exigentes e;
- Presença de afloramentos rochosos

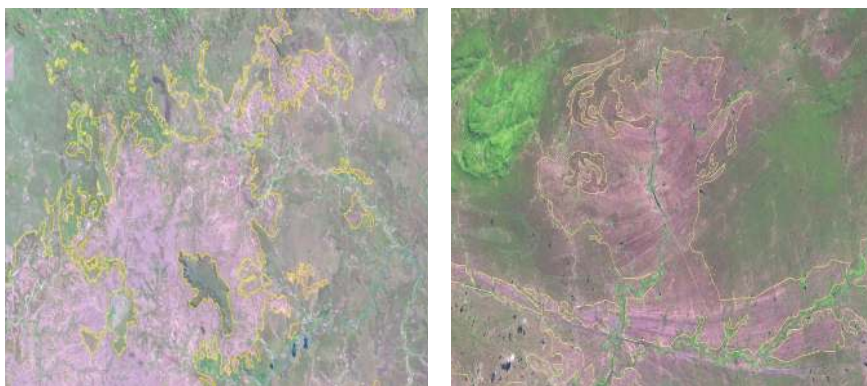
Após referidas constatações, confeccionou-se o mapa indicando as áreas em níveis avançados de degradação, ou seja, fortemente degradadas, em processo de desertificação.

O nível de detalhe da interpretação digital das imagens, neste trabalho, foi compatível com a escala de 1:250.000 e consistiu na identificação e delimitação das áreas com escassez ou ausência de vegetação, onde não eram percebidos sinais de terras produtivas. Utilizou-se como chave de interpretação, o maior grau de refletância das áreas ocasionada pela redução da biomassa, perceptível nos trechos desflorestados e que não apresentavam contornos definidos (**Figura 4**). Como apoio a essa interpretação, utilizou-se os mapas do Levantamento Exploratório - Reconhecimento dos Solos de cada estado do Nordeste, ou seja, Pernambuco, Ceará, (BRASIL, 1972 e 1973); Alagoas, Sergipe, (EMBRAPA, 1975a; 1975b); Bahia (EMBRAPA, 1976; 1977); Maranhão e Piauí (EMBRAPA, 1986a; 186b), para contribuir na identificação das áreas fortemente degradadas a partir de suas vulnerabilidades. Solos como os Luvisolos, Neossolos Litólicos e Planossolos por serem muito susceptíveis aos processos erosivos são mais facilmente degradados. Nos solos mais profundos e com textura arenosa e/ou média, a incidência desse fenômeno só é maior quando a sua utilização se dá de forma intensa e sem os devidos cuidados conservacionistas. As imagens do *Google Earth* também serviram de apoio, por apresentarem escala de alta resolução espacial, permitindo maior visibilidade do alvo a ser interpretado.

Embora seja evidente que os processos de exploração agrícola, tanto em regime de agricultura irrigada, como em sequeiro, têm contribuído para produzir impactos ambientais capazes de desencadear os processos de desertificação, teve-se o cuidado de não incluir áreas com

utilização agrícola, ou seja, áreas produtivas, com um nível ainda não avançado de degradação, identificadas nas imagens de satélite pelos contornos, com formas bem definidas, indicando algum tipo de cultivo (**Figura 5**). Esse cuidado foi importante porque todo o trabalho foi feito sem checagens de campo.

Figura 4 – Imagens do satélite LANDSAT 8, composição colorida, datada de 2014 identificando áreas com sinais de degradação em Gilbués-PI e Floresta-PE



Fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/citation>

Figura 5 – Imagem do satélite LANDSAT 8 - composição colorida, datada de 2014 mostrando áreas de uso agrícola na Bahia (ainda não degradada)



Fonte: <https://lta.cr.usgs.gov/citation>

5 RESULTADOS

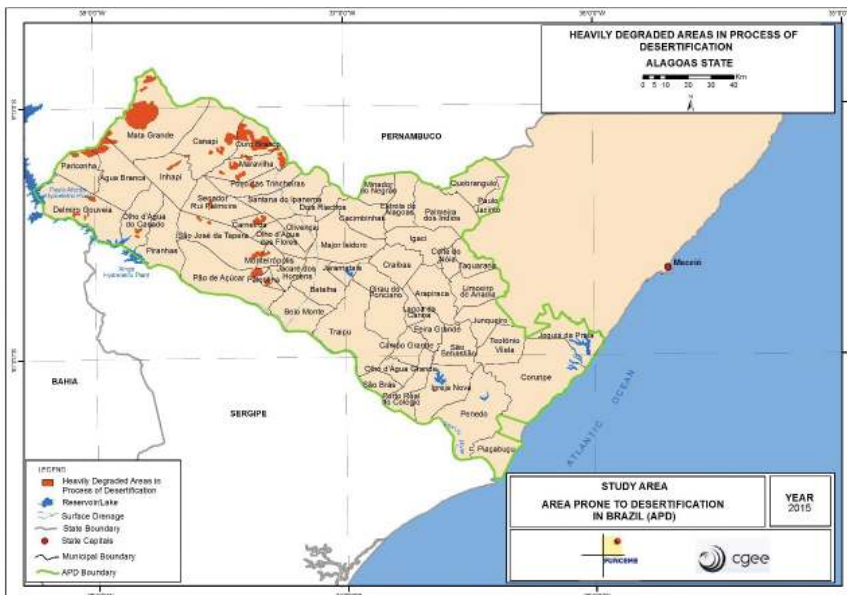
Foram gerados 12 mapas na escala 1:250.000, compreendendo os 11 estados que compõem a área de estudo e um mapa geral da ASD, mostrando espacialmente e quantitativamente, a situação da degradação no Brasil. Verificou-se que a ASD, que totaliza 1.348.345,78Km², apesar de ter todo o seu território vulnerável à desertificação, os processos mais avançados relacionados a este fenômeno, cobrem uma superfície de 70.279,46Km², espalhados em diversas áreas de cada estado envolvido. Tratam-se de áreas que já se encontram fortemente degradadas sob o ponto de vista físico. Vale ressaltar que as áreas com exploração agrícola, ainda produtivas, foram excluídas do mapeamento, tendo sido consideradas com baixo nível de degradação.

O mapeamento resultante é apresentado a seguir, por estado e numa figura geral, mostrando as áreas mapeadas como fortemente degradadas, sua extensão e os percentuais em relação a Área Suscetível à Desertificação (ASD).

- ALAGOAS

No estado de Alagoas as manchas que representam as áreas fortemente degradadas concentram-se ao noroeste e representam uma área de 429,38km², ou seja, 2,39% da ASD estadual (**Figura 6**).

Figura 6: Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Alagoas

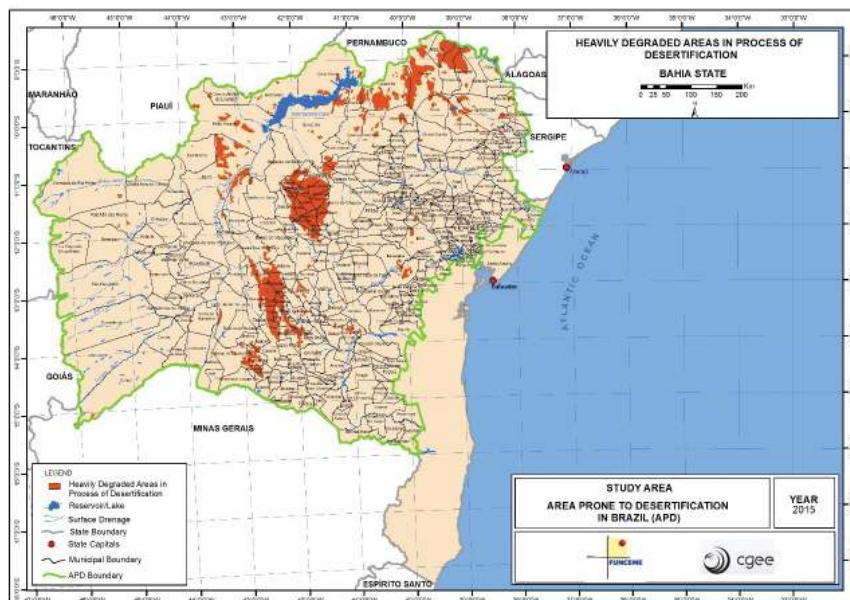


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- BAHIA

Na Bahia, de acordo com o mapeamento, as áreas fortemente degradadas aparecem em maior concentração ao norte e na área central do estado e em menor proporção na região sul. Essas áreas totalizam 26.808,36km², o que representa um percentual de 5,45% da ASD do estado (**Figura 7**).

Figura 7 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado da Bahia

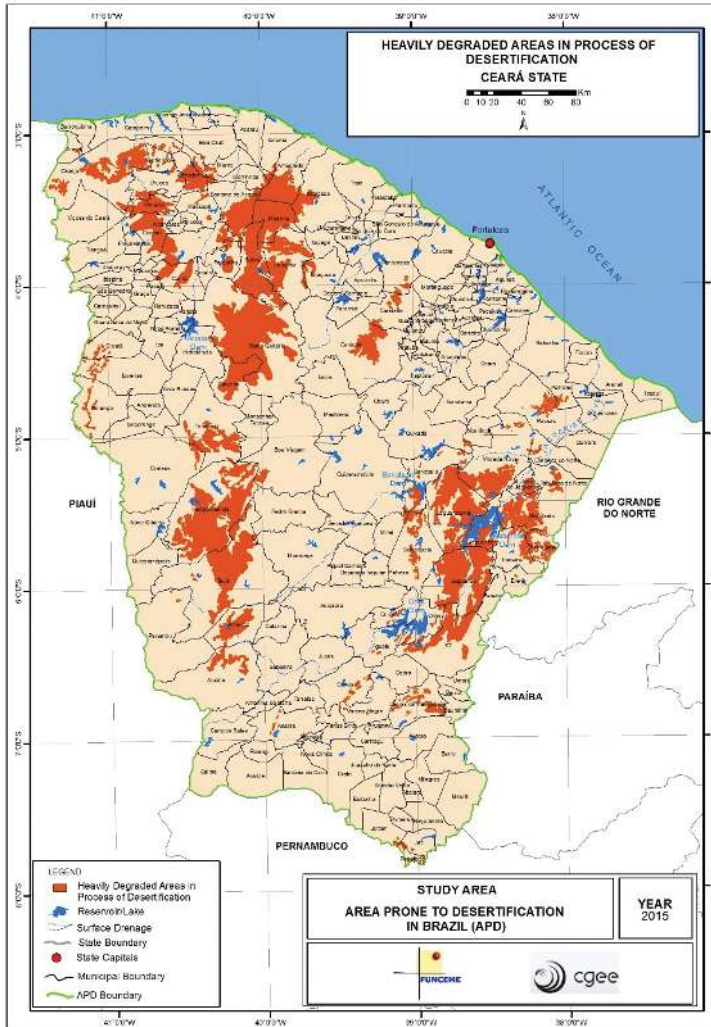


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- CEARÁ

No estado do Ceará os resultados indicam a ocorrência de três regiões que se apresentam muito comprometidas quanto à preservação dos recursos naturais e com sinais evidentes de uma intensa degradação. São as regiões de Irauçuba/Centro-Norte, Inhamuns e Médio Jaguaribe, coincidindo com os três Núcleos de Desertificação identificados no Plano Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CEARÁ, 2010). Foi mapeada como fortemente degradada uma área de 16.810,38km², equivalente a 11,21% do território cearense, que é totalmente suscetível à desertificação (**Figura 8**).

Figura 8 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Ceará

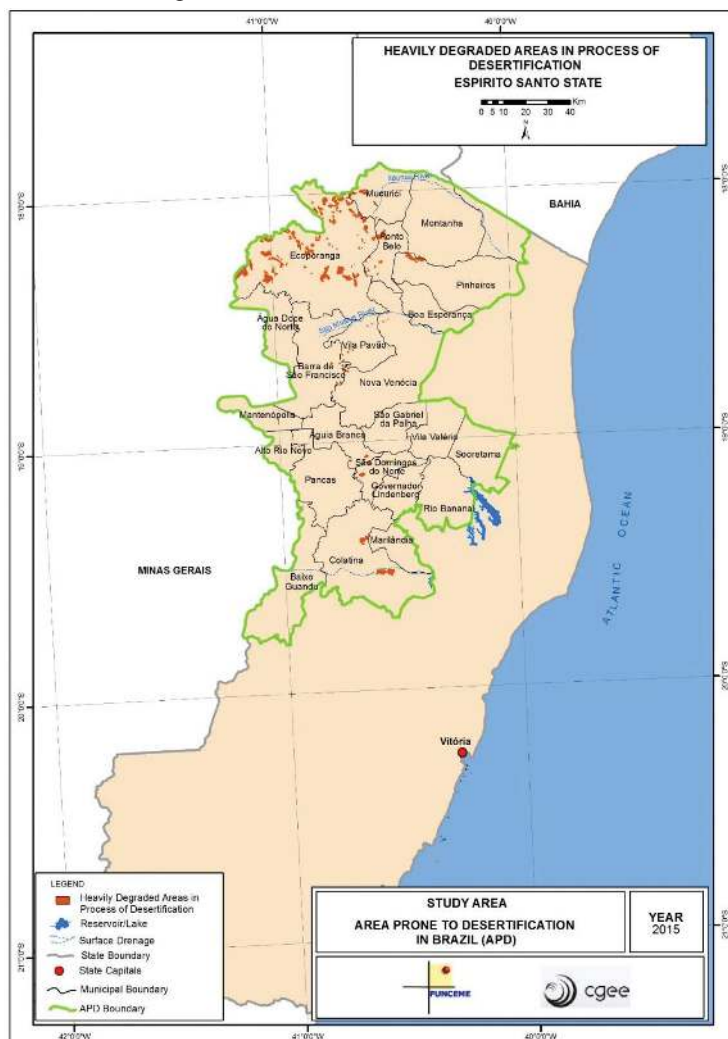


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- ESPÍRITO SANTO

No Espírito Santo, a concentração das manchas de degradação apresenta-se ao norte, noroeste e em menor proporção na região central e sul da ASD que se localiza na região norte do território Capixaba. Essas áreas perfazem um total de 352,56 km², compreendendo 2,09% da ASD do estado (**Figura 9**). Observa-se que a mineração tem grande influência na degradação ambiental do Espírito Santo.

Figura 9 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Espírito Santo

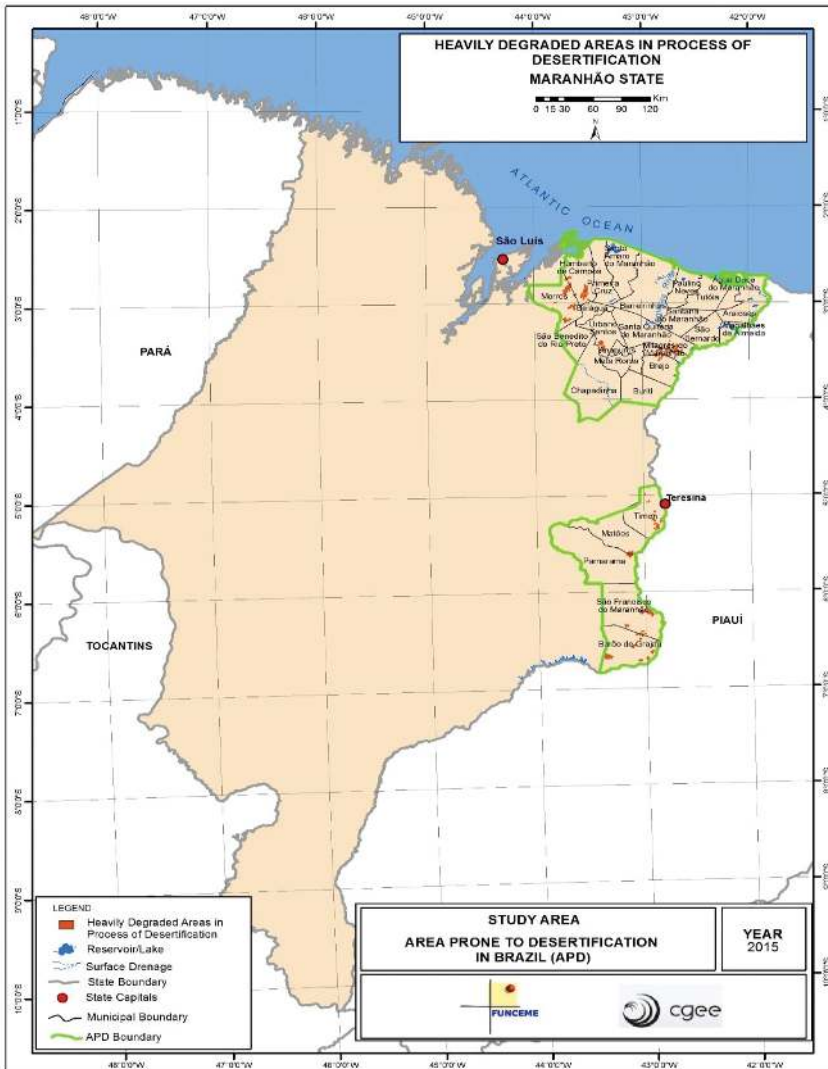


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- MARANHÃO

No Maranhão, apenas 41.426,47 km² da sua área total fazem parte da ASD do Brasil. Essa área localiza-se na região nordeste do estado, na divisa com o Piauí e apresenta manchas esparsas de degradação, que totalizam 360,05 km², equivalendo a 0,86% da ASD maranhense (**Figura 10**).

Figura 10 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Maranhão

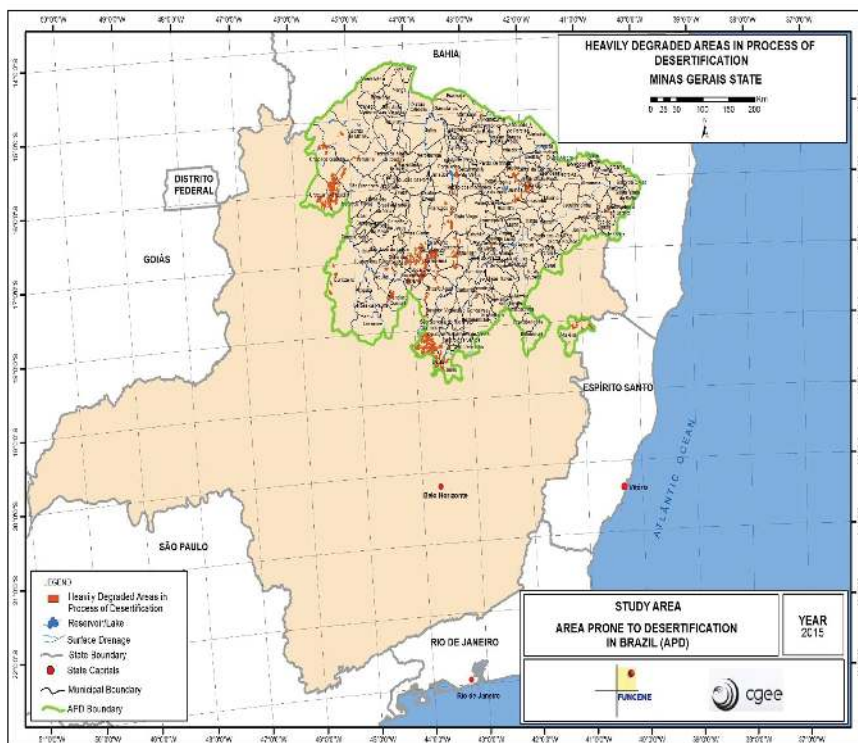


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- MINAS GERAIS

O estado de Minas Gerais apresenta clima semiárido na sua porção norte, área considerada como ASD. O mapeamento indicou a presença de manchas de áreas mais fortemente degradadas na parte central, no sul e a oeste e, de forma mais esparsa, no restante da ASD, totalizando 2.695,60 km², representando 1,51% da ASD mineira (**Figura 11**).

Figura 11 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Minas Gerais

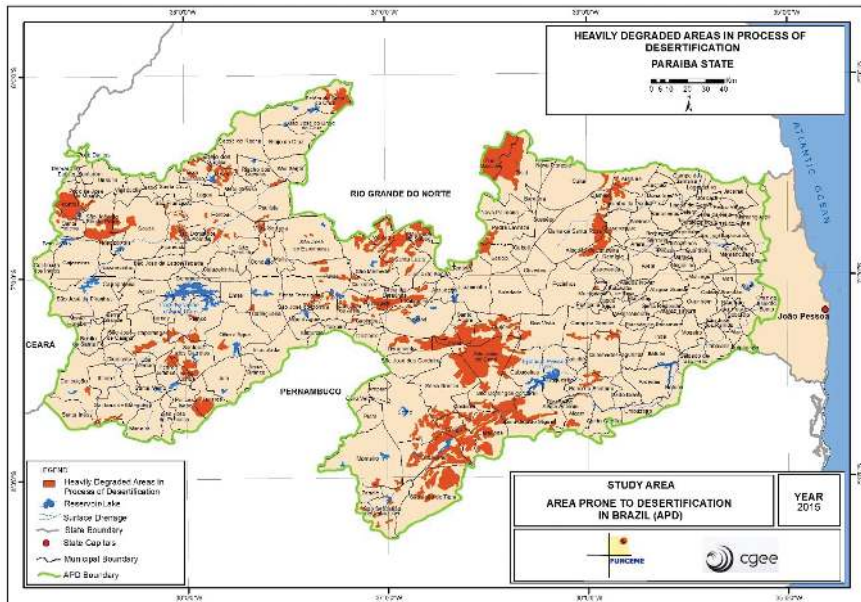


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- PARAÍBA

O estado da Paraíba também se apresenta muito comprometido em relação ao fenômeno da desertificação. As áreas fortemente degradadas foram identificadas por todo o território, totalizando 4.405,76 km², o que equivale a 8,12% da ASD do estado (**Figura 12**).

Figura 12 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado da Paraíba

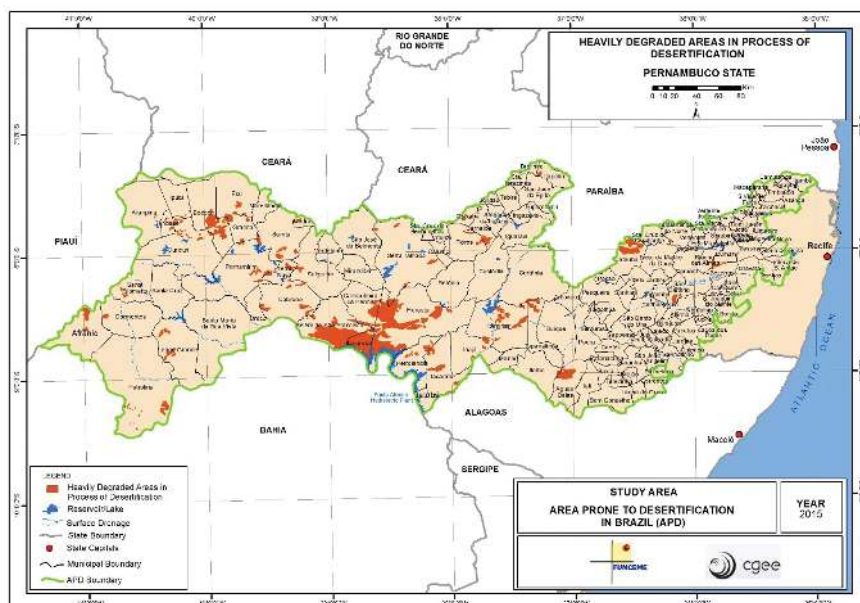


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- PERNAMBUCO

Em Pernambuco as áreas fortemente degradadas espalham-se em todo o território, apresentando uma concentração maior na região centro sul do estado, onde foi identificado um dos Núcleos de Desertificação, de acordo com o PAN-Brasil (BRASIL, 2004). Somando-se as manchas mapeadas tem-se 3.321,13km² de área bastante degradada, representando 3,69% da ASD pernambucana (**Figura 13**).

Figura 13 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Pernambuco

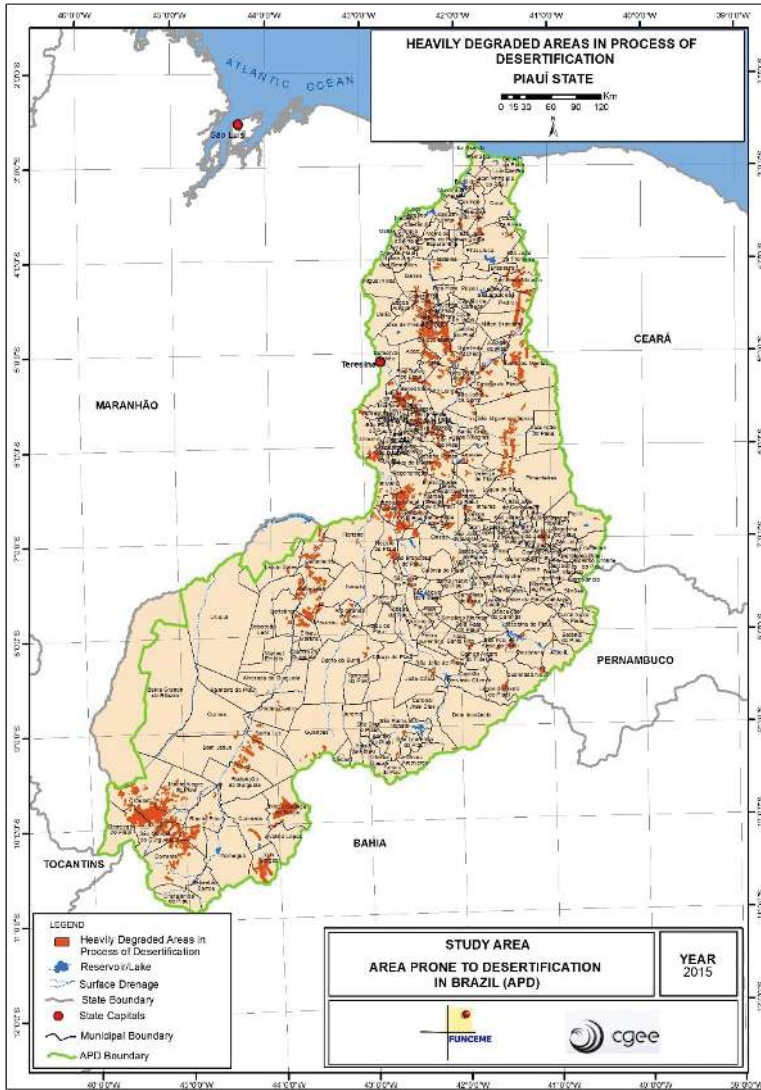


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- PIAUÍ

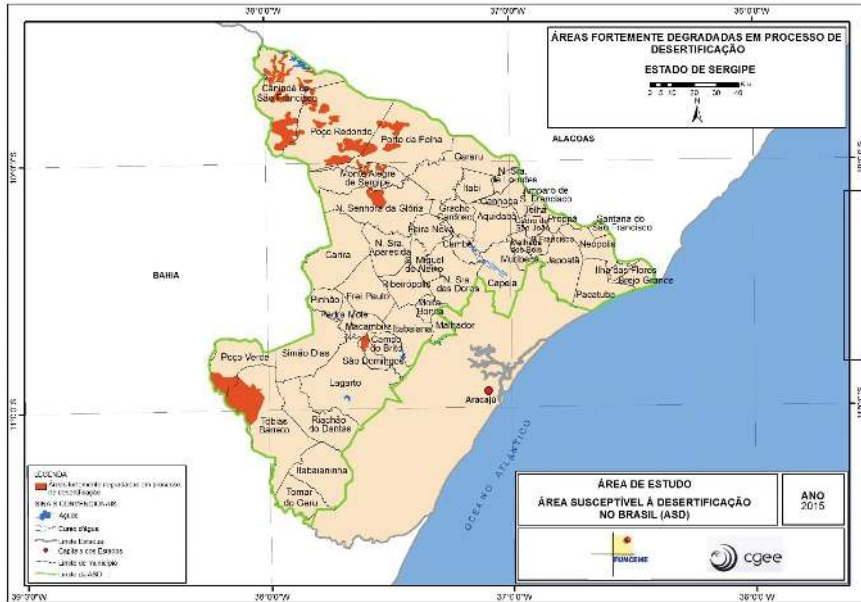
O Piauí tem 94,8% do território na ASD, dos quais 3,23% apresentam-se fortemente degradada. São 7.726,56 km² de áreas espalhadas por todo o estado, com algumas concentrações no noroeste e sudoeste do estado. As manchas localizadas ao sudoeste representam o Núcleo de Desertificação de Gilbués (BRASIL, 2004) (**Figura 14**).

Figura 14 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado do Piauí



Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

Figura 16 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação no estado de Sergipe

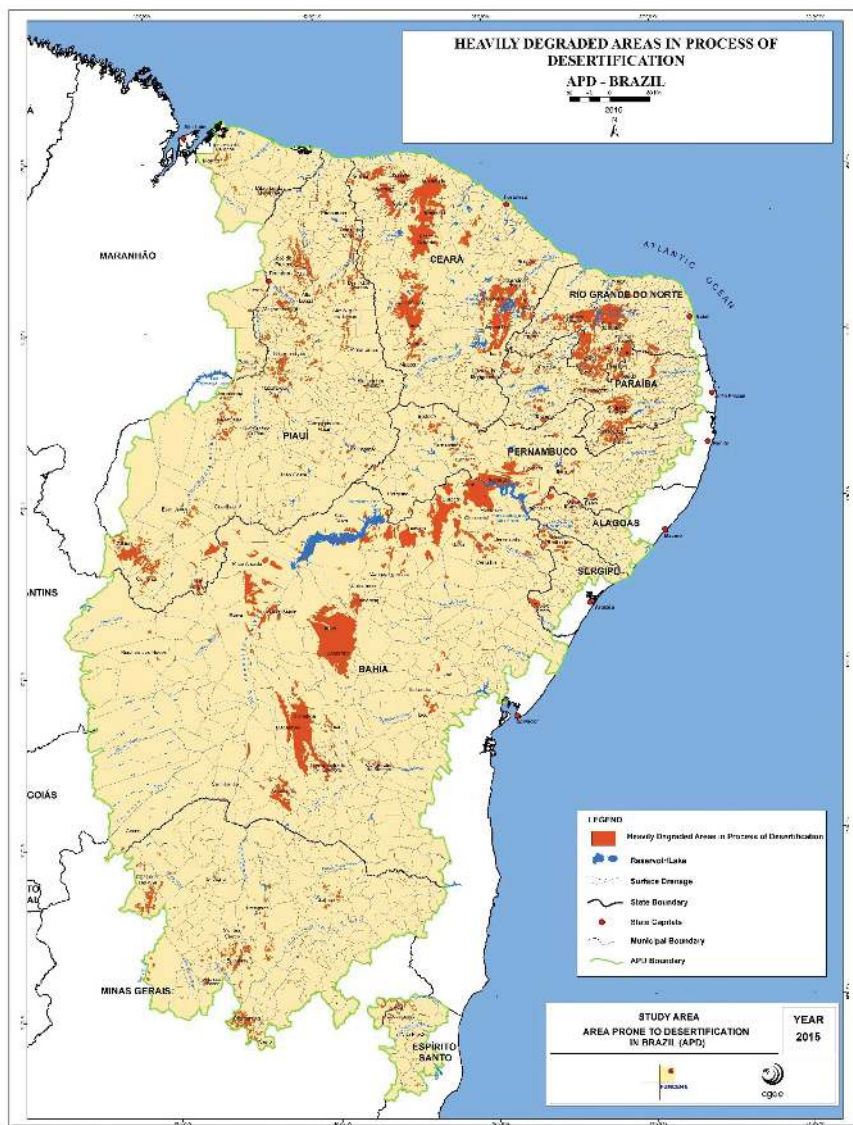


Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

- **ÁREA SUSCETÍVEL A DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL**

A Área Suscetível à Desertificação no Brasil – ASD fica na porção Nordeste, totalizando cerca de 1.348.345,00km². Dentro dessa delimitação foram identificados, através das imagens de satélite, 70.522,75Km² de áreas fortemente degradadas, ou seja, 5,23% da ASD, envolvendo territórios de 11 estados (**Figura 17**).

Figura 17 – Áreas fortemente degradadas em processo de desertificação nas Áreas Susceptíveis à Desertificação



Fonte: elaboração própria a partir do CGEE, 2016.

A **Tabela 1** apresenta, de forma sucinta, a quantificação das áreas fortemente degradadas em processo de desertificação.

Tabela 1 – Quantificação das áreas fortemente degradadas no Brasil por estado

ESTADO	Área Susceptível à Desertificação (ASD) por estado (km ²) (*)	Proporção de Área Susceptível à Desertificação em relação à área total do estado (%) (*)	Áreas fortemente degradadas na ASD (Km ²) (**)	Proporção de áreas fortemente degradadas em relação à ASD (%) (**)
Alagoas	17.918,14	63,0	429,38	2,39
Bahia	491.672,11	84,3	26.808,36	5,45
Ceará	150.008,34	100,0	16.810,38	11,21
Espírito Santo	16.802,15	36,2	352,56	2,09
Maranhão	41.426,47	12,3	360,05	0,86
Minas Gerais	178.093,62	29,9	2.695,60	1,51
Paraíba	54.231,47	94,7	4.405,76	8,12
Pernambuco	90.049,73	90,7	3.321,13	3,69
Piauí	238.901,54	94,8	7.726,56	3,23
Rio Grande do Norte	52.855,97	97,4	6.771,30	12,81
Sergipe	16.386,24	74,0	841,67	5,14
RESULTADO	1.348.345,78	60,5	70.522,75	5,23

Fonte: (*) IBGE,2007; (**)FUNCEME, 2015

6 CONCLUSÕES

Os resultados indicaram o valor do método baseado em sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas em processo de desertificação, permitindo, com elevado grau de confiabilidade, a identificação e quantificação das áreas fortemente degradadas no Brasil.

Os dados gerados alertam sobre a extensão dessa problemática e merecem ser considerados quando da implementação de políticas e ações de preservação e recuperação do meio ambiente.

A intensa exploração dos recursos naturais e o uso inadequado das terras, sem considerar suas potencialidades e limitações, são fatores que estão intensificando a degradação ambiental na ASD do Brasil. A essa realidade somam-se os impactos da variabilidade e da mudança climática, que tornam essas áreas ainda mais vulneráveis.

A partir desse trabalho, e com o uso de imagens do satélite Landsat, que são gratuitas e disponibilizadas periodicamente a cada 16 dias, fica

possível a atualização sistemática deste mapeamento para o necessário monitoramento, permitindo, assim, a realização de análises temporais e um acompanhamento, quase que em tempo real, da situação dessa região.

Auxiliado por outros mapeamentos de temas como uso da terra, vegetação, drenagem, espelhos d'água, etc., e com a possibilidade de realizar análises de expansão de áreas urbanas, utilizar modelos para análise de qualidade da vegetação como indicativo de degradação ambiental e ainda monitorar queimadas, desmatamentos, e outros temas relacionados, essa metodologia permite estabelecer mecanismos de alerta para realizar ações que minimizem os impactos da degradação dos recursos naturais, concretizando-se como uma poderosa ferramenta de monitoramento e resposta, visando estancar ou mesmo reverter os processos de desertificação.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Recursos Hídricos. *Atlas das áreas susceptíveis à desertificação no Brasil*. Brasília, 2007.

_____. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Pernambuco. Recife, 1972 2v (Boletim técnico,28) (Brasil. SUDENE-DRN. Divisão de Agroecologia-Série Pedologia).

_____. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará. Recife, 1973 2v (Boletim técnico,28) (Brasil. SUDENE-DRN. Divisão de Agroecologia-Série Pedologia,16).

_____. *Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-BRASIL*. Brasília, 2004. 220p.

CARVALHO, V.; LOMBARDO, M. A. *Análise preliminar das potencialidades das imagens Landsat para estudo de desertificação*. São José dos Campos: INPE, 1979.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca*. PAE/CE. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos. Fortaleza, 2010. 372p.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Desertificação, degradação da terra e secas no Brasil*. Brasília. 252p. 2016.

CONTI, J. B. *Desertificação nos trópicos: proposta de metodologia de estudo aplicada ao Nordeste Brasileiro*. 1955. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1955.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Alagoas**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975a. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 35). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 5.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Sergipe**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975b. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 36). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 6.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco, estado da Bahia**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1976. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 38). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 7.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco, estado da Bahia**. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1977. ilust. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 52). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos Renováveis, 10.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Maranhão**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, 1986. ilust. (Brasil. EMBRAPA. SNSLCS. Boletim de Pesquisa, 35). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos renováveis, 17.

_____. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Piauí**. Rio de Janeiro, EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, 1986. ilust. (Brasil. EMBRAPA. SNSLCS. Boletim de Pesquisa, 36). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos Renováveis, 18.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Estado do Ceará – Núcleos I - Irauçuba/Centro-Norte**. Fortaleza. 2015a. 300p. il.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Zoneamento Ecológico-Econômico das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Estado do Ceará – Núcleos II - Inhamuns**. Fortaleza. 2015b. 290p. il.

_____. ANA, Agência Nacional de Águas. **Mapeamento dos espelhos d'água do Ceará – Brasil**. Fortaleza. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases e referenciais. 2007. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>. Acesso em 13 JAN 2016.

LEITE, F.R.B.; SOARES, A. M.L.; MARTINS, M.L.R. Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará. 2ª aproximação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBSR, p. 156-161. 1993.

LEMOS, J.J.S. Desertificação no semiárido brasileiro. São Luís. **Revista Pesquisa em Foco**, São Luís, v. 5, n. 5, p. 33-46, 1997.

MONTEIRO, CAF. On the “desertification” in Northeast Brazil and man’s role in this process. **Latin A-merican Studies**, n. 9, 1988.

NASA. The Landsat program. 2010. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>> . Acesso em 11 FEV 2016.

RODRIGUES, M.I.V.; VIANA, M.O.L. Desertificação e construção de um coeficiente interdisciplinar para o estado do Ceará. **Anais...** II Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, p.66-95, 1997.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro. **GEOSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 11, p. 115-126, 2002.

SOUZA, B. I. **Contribuição ao estudo da desertificação na bacia do Taperoá-PB**. 1999. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 1999.

