

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM ÁREA SUSCETÍVEL À DESERTIFICAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, ESTADO DO PIAUÍ

Francílio de Amorim dos Santos

Instituto Federal do Piauí, *Campus* Piriipiri, PI, Brasil
francilio.amorim@ifpi.edu.br

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo identificar os elementos ambientais e realizar diagnóstico ambiental do município de Castelo do Piauí, considerando variáveis biofísicas, quais sejam: Declividade média (Dm), Erosividade das chuvas (R), Erodibilidade dos solos (k) e o Índice de vegetação ajustado ao solo ($SAVI$), como forma de subsidiar ações de gestão e planejamento ambiental do referido município. A presente pesquisa considerou os princípios da abordagem sistêmica e apresentou metodologia quantitativo-qualitativa e natureza descritiva. Os procedimentos técnicos basearam-se em adaptações à proposta metodológica denominada de Diagnóstico Físico Conservacionista, onde se propôs a integração de valores dos referidos parâmetros ambientais, sendo que o valor mínimo 6 indicou a melhor qualidade ambiental e 19 o pior estado de conservação. Desse modo, a fórmula descritiva do DFC indicou que houve aumento da degradação ambiental no município, considerando-se os anos de 1997 e 2016, da ordem de 4.93 unidades. Tal aumento pode estar ligado à dinâmica das atividades econômicas na área estudada, particularmente devido ao aumento das áreas destinadas aos cultivos temporários, aumento do efetivo bovino e ampliação da supressão da cobertura vegetal para a produção de carvão vegetal e lenha.

Palavras-chave: Área suscetível à desertificação; Variáveis biofísicas; Índice.

ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS IN AREA SUSCEPTIBLE TO THE DESERTIFICATION OF THE MUNICIPALITY OF CASTELO DO PIAUÍ, STATE OF PIAUÍ

ABSTRACT

The present study had as objective to identify the environmental elements and to carry out an environmental diagnosis of the municipality of Castelo do Piauí, state of Piauí, considering biophysical variables, such as: Average Declivity (AD), Rain Erosivity (R), Soil Erodibility K) and the Index of vegetation adjusted to soil ($SAVI$), as a way to subsidize management actions and environmental planning in said municipality. The present study applied the principles of the systemic approach and presented quantitative-qualitative methodology and descriptive nature. The technical procedures were based on adaptations to the methodological proposal called Physical Conservation Diagnosis, which proposed the integration of values of the above mentioned four environmental parameters, being that the minimum value 6 indicated the best environmental quality and 19 the worst state of conservation. Thus, the descriptive formula of the PCD indicated that there was an increase of the environmental degradation in the municipality, considering the years of 1997 and 2016, of the order of 4.93 units. This increase can be related to the dynamics of the economic activities in the studied area, particularly due to the increase in the areas destined to the temporary crops, increase of the bovine herd and expansion of the suppression of the vegetal covering for the production of charcoal and firewood. In this sense, it should be noted that the use of PCD was satisfactory, considering that it allowed the accomplishment of an environmental diagnosis and identification of the state of conservation of the physical environment of the municipality of Castelo do Piauí.

Keywords: Area susceptible to desertification. Biophysical variables. Index.

INTRODUÇÃO

Os constituintes da paisagem exibem dinâmica própria e o conhecimento desses elementos de forma integrada gera subsídios ao planejamento ambiental, permitindo, ainda, a análise de processos de degradação ambiental. Nesse sentido, tornou-se importante o emprego de indicadores biofísicos para avaliação da degradação ambiental, notadamente em áreas suscetíveis à desertificação (ASD), que apresentam suscetibilidades naturais.

A paisagem apresenta-se como um conjunto sistêmico, cujos componentes exibem uma intrincada rede de interligação. Essa integração gera distintas suscetibilidades que são acentuadas quando associadas às dinâmicas das atividades humanas. Nesse sentido, destaca-se o processo de desertificação, considerado um tipo específico de degradação ambiental resultante das variações climáticas aliadas às atividades humanas praticadas de modo inadequado, particularmente em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas.

Nesse cenário, insere-se o município de Castelo do Piauí, localizado no setor nordeste do estado do Piauí, e que foi apontado, por Aquino (2002) e Santos (2015), como área suscetível à desertificação, quando integrado as componentes de sua paisagem, particularmente aqueles ligados à declividade, clima, solos e cobertura vegetal. Desse modo, tornou-se oportuno e importante desenvolver estudo para análise ambiental desse município.

O presente estudo empregou os princípios da abordagem sistêmica, posto que tenha buscado integrar as componentes da dinâmica espacial. Diga-se, ainda, que se utilizou metodologia quantitativo-qualitativa, sendo a pesquisa de natureza descritiva. Os procedimentos técnicos foram realizados a partir de adaptações à proposta metodológica de Beltrame (1994), que elencou diversos parâmetros e o usou média ponderada para a elaboração do Diagnóstico Físico Conservacionista.

Frente o exposto, o presente estudo propôs-se a caracterizar os elementos ambientais, identificar e realizar diagnóstico ambiental do município de Castelo do Piauí, considerando variáveis biofísicas, quais sejam: Declividade média (Dm), Erosividade das chuvas (R), Erodibilidade dos solos (k) e o Índice de vegetação ajustado ao solo ($SAVI$), como forma de subsidiar ações de gestão e planejamento ambiental do referido município.

APORTE TEÓRICO-METODOLÓGICO

A Geografia, notadamente a Geografia Física, tem empregado em seus estudos a abordagem sistêmica, que tem base solidificada sobre a Teoria Geral dos Sistemas (TGS). Mendonça (2001) destaca que a TGS tem sido bastante utilizada no âmbito das ciências naturais. Nesse contexto, o conceito de paisagem adentra a análise ambiental como um articulado conjunto de peças naturais, cuja constituição é dinâmica e sua evolução é contínua.

Sobre o conceito de paisagem Bertrand (1972, p.141) destaca que a mesma pode ser definida como o “[...] resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”.

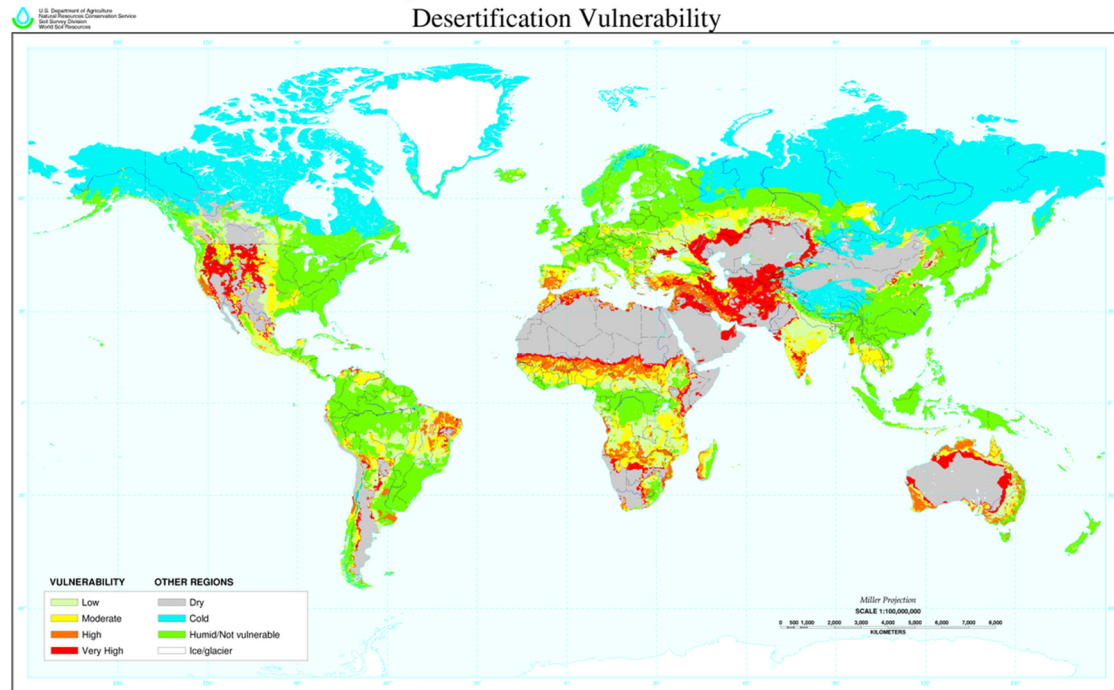
Crepani *et al.* (2001) assevera que a paisagem provém da (des)construção resultante das forças internas e externas, ao passo que o produto da destruição é levado encosta abaixo pela rede de drenagem, em geral, até o mar. Ab’Sáber (2003), por sua vez, aborda o conceito de paisagem como sendo herança de processos fisiográficos e biológicos existentes no passado, remodelada e modificada pelos processos recentes. Para Ross (2009), a unidade dinâmica se manifesta no espaço físico-territorial assegurando a integridade funcional, por meio de sua distribuição, em um geossistema.

Nesse cenário, corrobora-se que a abordagem sistêmica apresenta-se como elemento essencial à análise ambiental, particularmente ao mapeamento e diagnóstico ambiental em áreas suscetíveis à desertificação (ASD). Estas vêm sendo relacionadas aos processos de degradação ambiental existentes em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, como produto das variações climáticas ou de atividades humanas praticadas de forma inadequada (BRASIL, 1995).

As ASD estão distribuídas por todos os continentes. Para Emeka (2013), o processo de desertificação é um fenômeno antigo, entretanto tem sido acelerado pela expansão da ocupação da superfície terrestre. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*USDA - United States Department of Agriculture*, 1998), diversos países têm sido atingidos por

esse fenômeno, principalmente aqueles países localizados em áreas subúmidas e semiáridas, destacando-se que o Brasil contém uma zona com alta a muito alta vulnerabilidade à desertificação, situada no nordeste do País (Figura 1).

Figura 1: Mapa das zonas vulneráveis à desertificação, de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.



Fonte: United States Department of Agriculture (USDA), D.C. Washington, 1998.

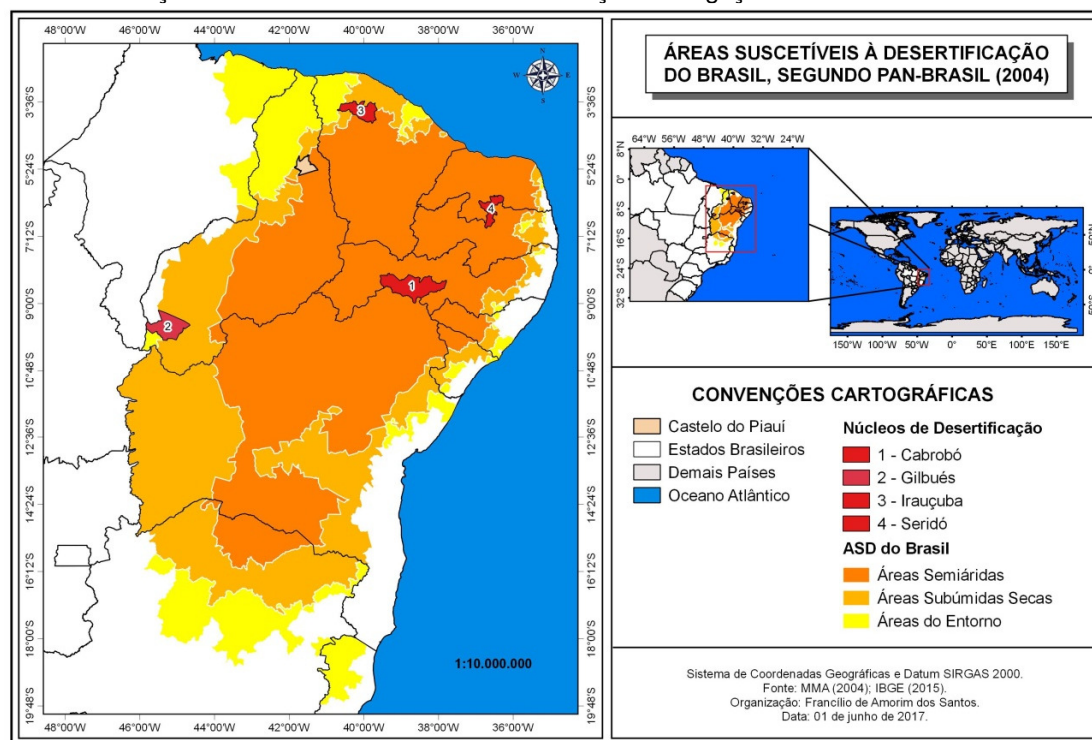
No Brasil, as ASD distribuem-se pelos 9 (nove) estados da região Nordeste, além do norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo, cuja área total compreende 1.488 municípios e 1.340.863 km², dentre eles o município de Castelo do Piauí (Figura 2). Diante da grande extensão das ASD foram criados os Núcleos de Desertificação ou Áreas Piloto, como áreas- base de onde devem partir os estudos das causas e efeitos da desertificação, quais sejam (BRASIL, 2004): Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN/PB), Cabrobó (PE).

Ressalta-se que no estado do Piauí as ASD abrangem 71 municípios, dentre os quais se encontra o município de Castelo do Piauí, como mencionado. Esse município possui parte de sua área com a presença do Bioma Caatinga e foi indicado pelo estudo de Aquino (2002) como possuindo fragilidade climática natural, tendo em vista que está localizado em área com tipo climático subúmido seco a semiárido.

De acordo com Floret *et al.* (1993), o processo de desertificação, quando desencadeado em determinado ecossistema, resulta em perda significativa da produtividade biológica. Nesse sentido, Schenkel e Matallo Junior (2001) destacam como elementos desencadeadores da desertificação: a mineração, que produz profundas alterações na topografia e conseqüentemente na paisagem, gerando graves processos erosivos, contaminação do solo e da água pelo uso de produtos químicos; a agricultura irrigada, que resulta em salinização, compactação ou inundação, reduzindo a produtividade e rentabilidade, além de colocar em risco a sustentabilidade da citada atividade; a pecuária, notadamente a bovinocultura, que promove a supressão da cobertura vegetal natural para a formação de pastos.

Diante da complexidade do fenômeno da desertificação, buscou-se empregar o Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) como metodologia para diagnóstico ambiental do município de Castelo do Piauí. O DFC apresenta base teórica alicerçada em estudos realizados pelo Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras (CIDIAT) e pelo Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MARNR) da Venezuela (BELTRAME, 1994).

Figura 2: Mapa das áreas suscetíveis à desertificação do Brasil, conforme definido pelo Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.



Fonte: MMA (2004); IBGE (2015). Organizado pelo autor (2017).

De acordo com Beltrame (1994), a aplicação do DFC gera a possibilidade de conduzir racionalmente o uso e manejo de recursos naturais renováveis. Pinheiro (2011), por sua vez, destaca que por meio do DFC pode-se inferir a real situação de conservação e/ou degradação dos recursos naturais em um determinado espaço geográfico. No presente estudo foram elencados 4 (quatro) variáveis biofísicas, quais sejam:

- Declividade média (Dm), que diz respeito à inclinação do terreno em relação ao horizonte (GUERRA e GUERRA, 2011);
- Erosividade das chuvas (R), que está relacionada à capacidade dos agentes de erosão, a exemplo da água, causar desprendimento do solo e transportá-lo (LAL e ELLIOT, 1994).
- Erodibilidade dos solos (K), vinculada à suscetibilidade dos solos aos processos de erosão, considerando-se suas diferentes propriedades e usos diversos, tendo cada tipo textural diferentes tipos de erosão (BELTRAME, 1994);
- Índice de vegetação ajustado ao solo ($SAVI$), que é analisado a partir dos efeitos do solo exposto em imagens de satélites, considerando-se o ajuste do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), quando a superfície não está totalmente recoberta pela vegetação (BORATTO e GOMIDE, 2013).

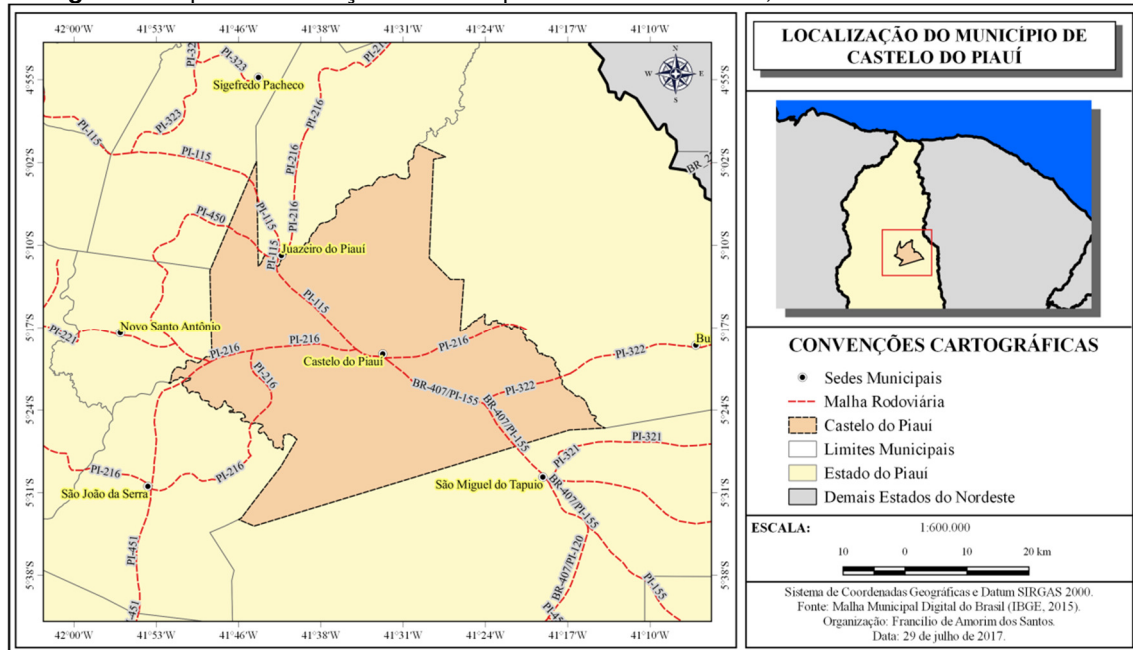
Aliado à abordagem sistêmica o uso das geotecnologias tornaram-se elementos fundamentais para a análise e diagnóstico ambiental. Nesse contexto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) apresentam-se como elementos reais para representação do espaço geográfico, gerando a possibilidade de compilar, organizar e armazenar determinadas informações em arquivos de vetoriais e/ou matriciais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área em estudo

A pesquisa foi realizada no município de Castelo do Piauí, situado no Território de Desenvolvimento dos Carnaubais (PIAÚI, 2006). O município possui área de 2.035,2 km² e sua sede municipal localiza-se às Coordenadas Geográficas: 05°19'19"S e 41°33'10"O, distando 184 km de Teresina, capital do Piauí. O município possui os seguintes limites (Figura 3): ao norte com Pedro II; ao sul com São Miguel do Tapuio; a leste Área de Litígio entre Piauí e Ceará; a oeste com Campo Maior, Alto Longá e São João da Serra (AGUIAR e GOMES, 2004).

Figura 3: Mapa de localização do município de Castelo do Piauí, nordeste do estado do Piauí.



Fonte: IBGE (2015). Organizado pelo autor (2017).

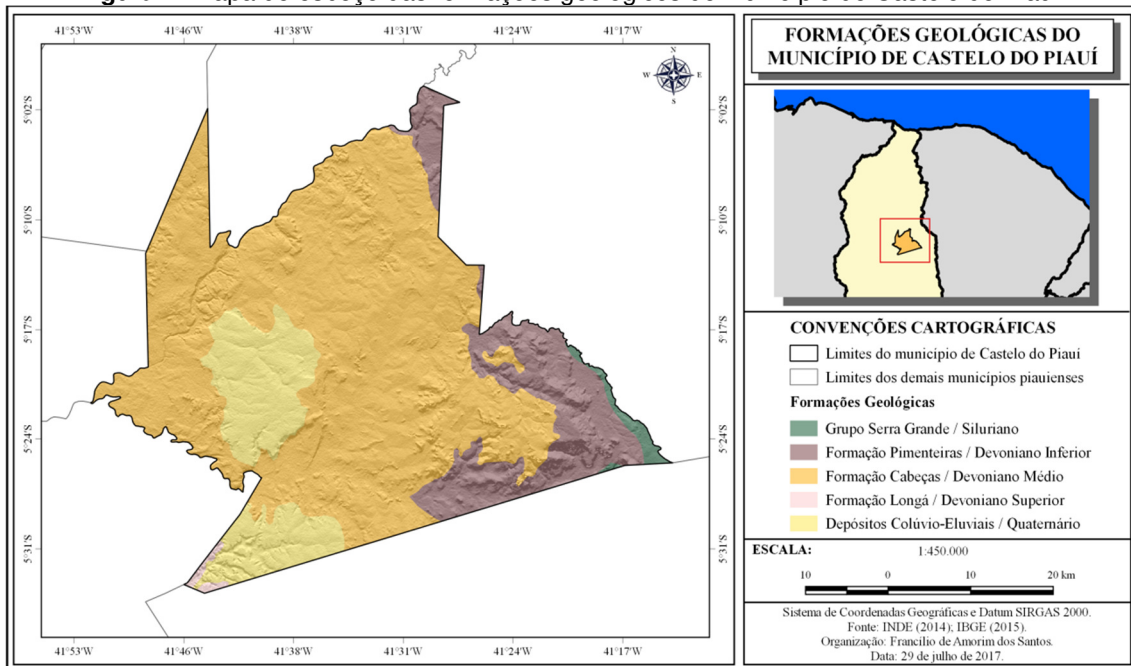
O município de Castelo do Piauí está assentado sobre formações geológicas que datam das Eras Paleozoica e Cenozoica (Figura 4), quais sejam (CRPM, 2006): a Formação Cabeças, mais extensa e abrangente da área, distribuindo-se por 1.408,4 km² (69,2%) do município; seguida pela Formação Pimenteiras, os Depósitos Colúvio-Eluviais, o Grupo Serra Grande e a Formação Longá que abrangem, respectivamente, 305,3 km² (15%), 291 km² (14,3%), 22,4 km² (1,1%) e 8,1 km² (0,4%) da área do município.

As cotas altimétricas da área estudada variam de 100 a 580 m (Figura 5). Contudo, predominam na área elevações situadas entre 180 m a 300 m, distribuídas por 65% do município estudado, que corresponde notadamente às superfícies tabulares. Por outro lado, as maiores altitudes, com menor distribuição pela área, correspondem principalmente às vertentes da formação Serra Grande e situam-se na parte sudeste do município em questão.

A rede de drenagem do município de Castelo do Piauí é composta pelos rios Poti, Cais e São Miguel e, ainda, pelos riachos São Francisco, Palmeira, Cangalhas e Boa Ventura (AGUIAR e GOMES, 2004). A área em estudo encontra-se sob efeito direto da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema atmosférico atuante no setor norte do Nordeste do Brasil (NEB). Os totais pluviométricos médios anuais em Castelo do Piauí variam de 1.038 mm a 1.188 mm (série histórica de 1985 a 2001), conforme está exposto na Figura 6. Em 61,6% da área predomina volume pluviométrico situado entre 1.038 a 1.088 mm, concentrado entre janeiro a maio. Santos e Aquino (2015) apontam que na área ocorrem três tipos climáticos, a saber: subúmido úmido (28,6%), subúmido seco (64,7%) e semiárido (6,7%).

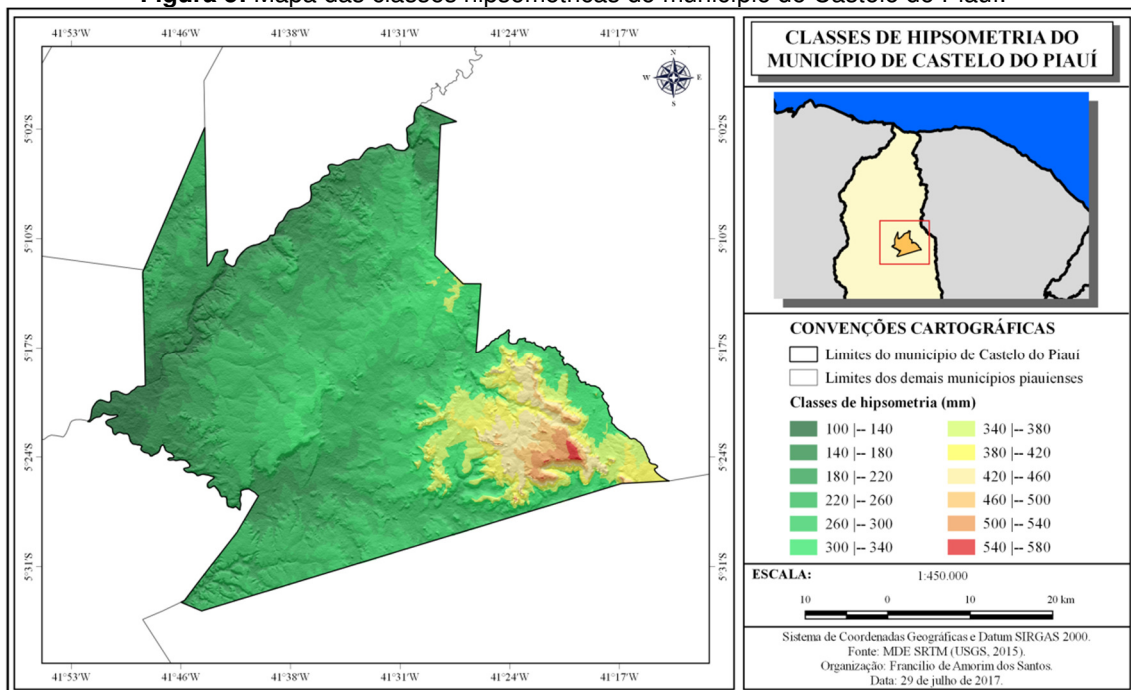
Em relação ao elemento pedológico, em Castelo do Piauí foram identificadas as seguintes ordens de solos (Figura 7): Neossolos, que predomina no município e distribuem-se por 66% da área; Latossolos que ocupam 27,7% do município; Plintossolos e Planossolos que se distribuem por 3,6% e 2,7% da área estudada, respectivamente (INDE, 2014).

Figura 4: Mapa do esboço das formações geológicas do município de Castelo do Piauí.



Fonte: CPRM (2006); IBGE (2015).

Figura 5: Mapa das classes hipsométricas do município de Castelo do Piauí.

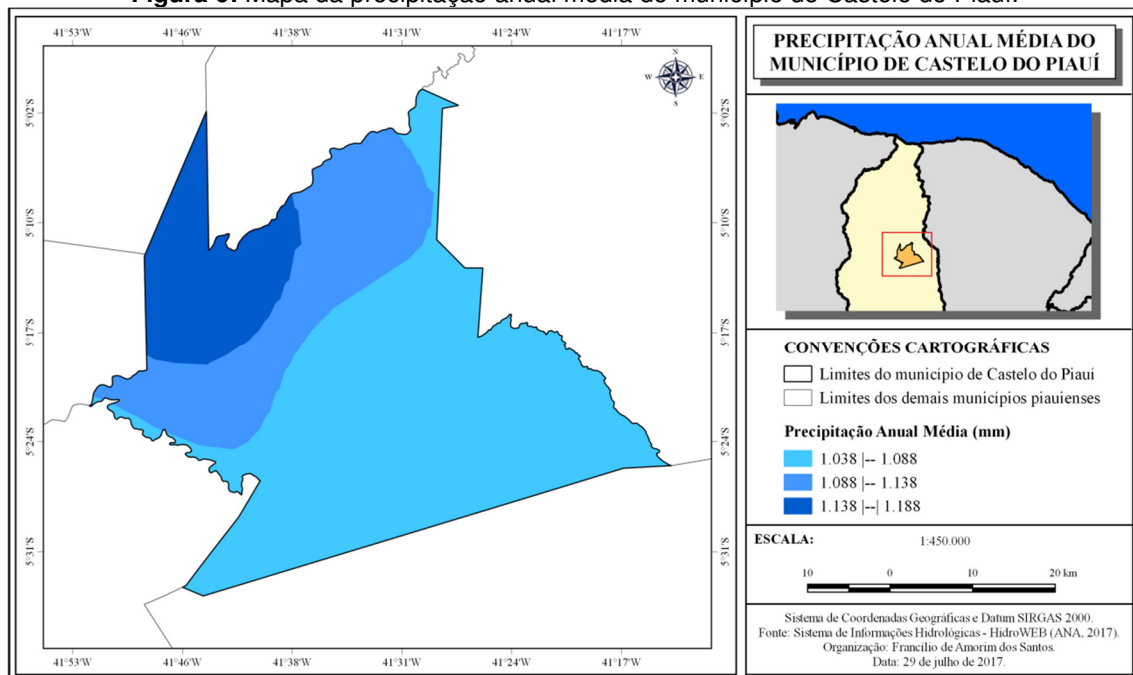


Fonte: MDE SRTM (USGS, 2015).

Procedimentos metodológicos

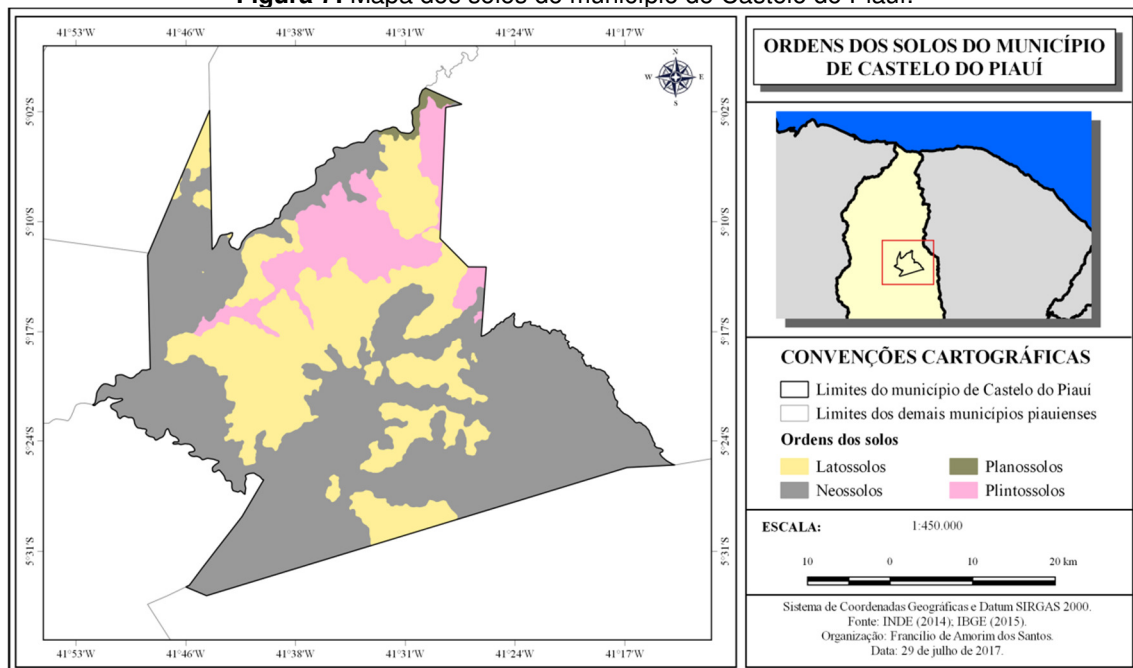
A pesquisa empregou princípios da abordagem sistêmica como elemento teórico-metodológico fundamental à análise ambiental, visto que buscou integrar distintos elementos da dinâmica ambiental. Cita-se, também, que se utilizou metodologia quantitativo-qualitativa, partindo do pressuposto que se quantificou dados das variáveis ambientais. Ressalta-se, ainda, que o estudo teve natureza descritiva, conforme discorre Gil (2002), cujo objetivo está em descrever características de uma dada população ou fenômeno e estabelecer relações entre variáveis.

Figura 6: Mapa da precipitação anual média do município de Castelo do Piauí.



Fonte: ANA (2017).

Figura 7: Mapa dos solos do município de Castelo do Piauí.



Fonte: INDE (2014).

Em relação aos procedimentos técnicos foram realizadas adaptações à proposta metodológica de Beltrame (1994), tendo em vista que não se utilizou o Balanço Hídrico (BH) e a Densidade de Drenagem (DD) como variáveis para composição do Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) e diagnóstico ambiental do município de Castelo do Piauí. Por meio do referido índice propôs-se a integração de valores de determinados parâmetros ambientais, tendo em vista que quanto maiores os valores dos índices de cada parâmetro, maior será o potencial de risco a degradação ambiental e vice-versa. Na presente pesquisa elencou-se 4 (quatro) variáveis ambientais, que foram agrupadas quantitativamente e analisadas a partir da Equação 1:

$$E_{(f)} = Dm + R + K + ICV \quad (1)$$

Onde:

$E_{(f)}$ = é o estado físico conservacionista, que é proporcional aos parâmetros;

Dm = Declividade média;

R = Erosividade das chuvas;

K = Erodibilidade dos solos;

ICV = Índice de cobertura vegetal, representado pelo Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI).

Fez-se uso da média ponderada para estimar a contribuição de cada parâmetro elencado a partir da fórmula descritiva do DFC, a partir dos arquivos vetoriais e matriciais obtidos. Nesse sentido, sendo possível a realização do diagnóstico ambiental do município de Castelo do Piauí. A seguir serão mais bem detalhadas as variáveis ambientais utilizadas.

- Declividade média (Dm)

Para manuseio das informações desse parâmetro fez-se necessária a aquisição de dados do modelo digital de elevação (MDE) da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), obtidos por meio do *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Service – USGS*, 2017). Para análise as classes de declividade do relevo foi considerada a proposta pela Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA, 2009), conforme está disposto na Tabela 1.

Tabela 1: Intervalos de Declividade média (Dm), com classes atribuídas e suas respectivas notas.

Intervalos de Dm (%)	Classes de declividade	Classes atribuídas	Notas
0 -- 3	Plano	Muito baixa	1
3 -- 8	Suave Ondulado	Baixa	2
8 -- 20	Ondulado	Média	3
20 -- 45	Forte Ondulado	Alta	4
45 -- 75	Montanhoso	Muito alta	5

Fonte: EMBRAPA (2009). Adaptada pelo autor (2017).

- Erosividade das chuvas (R)

Inicialmente, foi executado um processo de triagem para averiguação dos postos com dados disponíveis considerando-se a série histórica de 1963 a 2001 (39 anos), via Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017). Desse modo, foram selecionados 5 (cinco) postos pluviométricos (Figura 8) com dados disponíveis para a referida série.

A etapa seguinte constou da correção das falhas da referida série, que se deu com o emprego da técnica de ponderação regional proposta por Tucci (1993) associada ao uso do pacote de programas USUAIS, conforme sugerem Oliveira e Sales (2016), quais sejam: FALHAS, para correção das falhas; CRIATEMP, para criação de arquivos para os postos; CRIACHUV, para inserção e gravação dos dados de precipitação média mensal.

Finalizados os procedimentos mencionados, seguiu-se ao uso do programa EROSIV, para geração dos valores médios do fator R, conforme Equação 2, proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Ressalta-se que a referida equação se baseia em regressão linear considerando o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva.

$$E = 67,355(r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

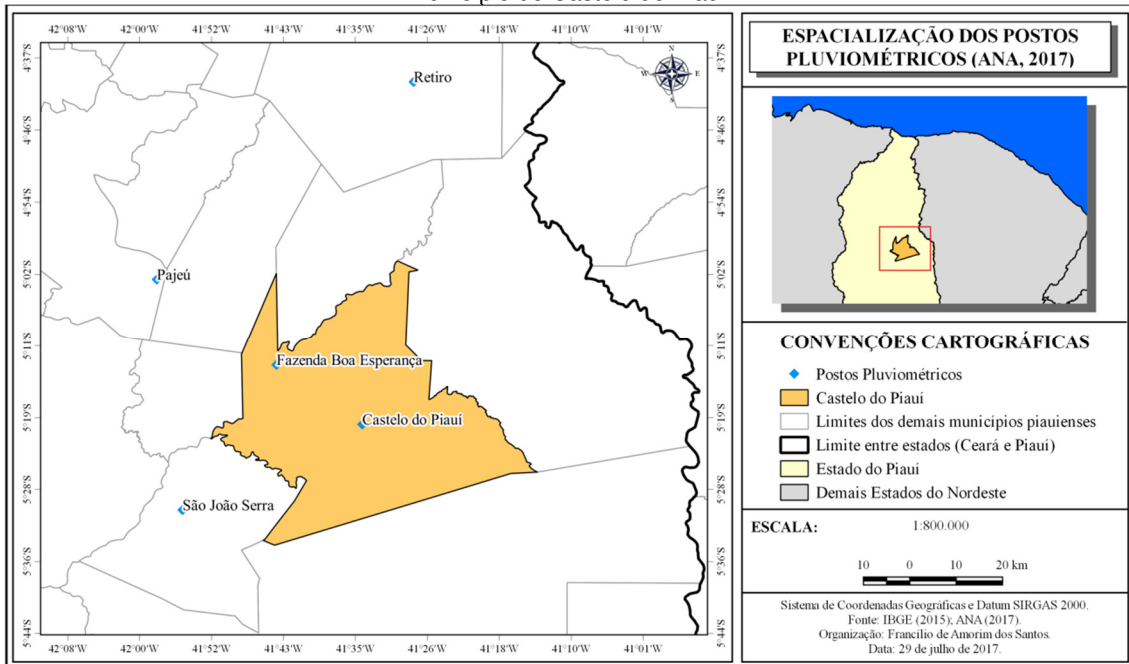
Onde:

E = média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h);

r = precipitação média mensal em mm;

P = precipitação média anual em mm.

Figura 8: Mapa dos postos pluviométricos utilizados na análise da Erosividade das chuvas (R) no município de Castelo do Piauí.



Fonte: IBGE (2015); ANA (2017).

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e em seguida espacializados por meio de interpolação considerando-se o método IDW (peso pelo inverso da distância), no Sistema de Informação Geográfica (SIG) *QuantumGIS (QGIS)*, versão 2.14 - Essen. O modelo IDW baseia-se em dependência espacial, ou seja, quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. A referida espacialização resultou na delimitação de 3 (três) classes de Erosividade das chuvas (Tabela 2).

Tabela 2: Intervalos de Erosividade das chuvas (R), com classes atribuídas e suas respectivas notas.

Amplitude de R (MJ.mm/ha.h.ano)	Classes atribuídas	Notas
7.073,0 -- 7.197,6	Baixa	2
7.197,6 -- 7.321,9	Média	3
7.321,9 -- 7.446,3	Alta	4

- Erodibilidade dos solos (K)

A priori, foi obtido arquivo vetorial dos solos da Folha SB.24 - Jaguaribe, em escala 1:250.000, disponibilizado no *site* da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2014). A estimativa das classes de Erodibilidade dos solos (K) considerou a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001). Este toma como base o parâmetro grau de desenvolvimento ou maturidade dos solos para classificação do fator K (Tabela 3).

Tabela 3: Intervalos de Erodibilidade dos solos (K), classes atribuídas e suas respectivas notas.

Ordens de solos	Classe atribuída	Notas
Latossolos	Baixa	2
Planossolos	Média	3
Neossolos e Plintossolos	Muito alta	5

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

- Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

A etapa inicial consistiu em adquirir imagens dos satélites *Landsat 5 TM* e *Landsat 8 OLI*, junto ao *site* da *USGS*. As cenas obtidas possuem órbita/ponto 218/64 e as datas de passagem 28/08/1997 e 17/08/2016, com resolução de 30 metros. A seleção das imagens deu-se a partir

da menor presença de nuvens, particularmente no segundo semestre (agosto), considerado o período seco da área estudada. As imagens foram selecionadas considerando-se que no ano de 1997 ocorreu a última emancipação política do município de Castelo do Piauí e o ano de 2016 foi selecionado devido ter a imagem mais recente em relação ao mês de agosto.

As imagens passaram por processos de conversão geométrica e no caso da imagem do satélite *Landsat 8* foi realizada conversão radiométrica (16 para 8 bits) por meio das ferramentas do *QGIS*. Em seguida, empregou-se a Equação 3 do SAVI, que analisa os efeitos do solo exposto nas cenas estudadas, a partir do ajuste do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) quando a superfície não está totalmente recoberta pela vegetação (BORATTO e GOMIDE, 2013).

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L) \quad (3)$$

Onde:

L corresponde a uma constante chamada de fator de ajuste do índice SAVI, que nesse estudo assumiu o valor de 0,5, aplicado à vegetação com densidade intermediária.

Após o refinamento das imagens, foram delimitadas 5 (cinco) classes de fisionomia da cobertura vegetal, para os anos de 1997 e 2016 (Tabela 4). Ressalta-se que a classe 1 representa a cobertura vegetal de maior atividade fotossintética e, por conseguinte, melhor condição de proteção dos solos, enquanto a classe 5 corresponde à pior condição encontrada.

Tabela 4: Intervalos do Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), com classes atribuídas e suas respectivas notas.

Intervalos do SAVI	Classes de vegetação	Classes atribuídas	Notas
0,7 -- 0,9	Alta atividade fotossintética	Muito baixa	1
0,5 -- 0,7	Média atividade fotossintética	Baixa	2
0,3 -- 0,5	Baixa atividade fotossintética	Média	3
0,1 -- 0,3	Muito baixa atividade fotossintética	Alta	4
0 -- 0,1	Solo exposto	Muito alta	5

Realizada a definição das classes e nota para cada parâmetro ambiental, procedeu-se a aplicação da fórmula descritiva do DFC, de acordo com a proposta metodológica de Beltrame (1994), conforme está exposta na Equação de regressão 4.

$$y = a + bx \quad (4)$$

Na Equação 5 é exibido o somatório das notas mínimas definidas para cada parâmetro ambiental (Dm, R, K, SAVI). Desse modo, o valor de $x = 6$ corresponde ao melhor estado de conservação dos recursos naturais.

$$Se x = 6, então y = 0, daí a equação: 6b + a = 0 \quad (5)$$

Por outro lado, a Equação 6 exhibe o somatório dos valores máximos possíveis de serem encontrados, ou seja, $x = 19$. Esse valor representa o pior estado de conservação dos recursos naturais na área estudada.

$$Se x = 19, então y = 100, daí a equação: 19b + a = 100 \quad (6)$$

Encontradas as equações para os valores mínimo e máximo, seguiu-se à subtração das Equações 5 e 6, para encontrar o valor de b , conforme está representado abaixo:

$$19 + a = 100$$

$$-(6b + a = 0)$$

$$ou 19b + a = 100$$

$$-(6b - a = 0)$$

$$19b = 100 \Rightarrow b = \frac{100}{19} ou b = 5.26$$

Tendo sido encontrado o valor de b , o procedimento seguinte consistiu na substituição desse valor (5.26) na Equação 5, cujo objetivo foi identificar o valor de a :

$$6 \times 5.26 + a = 0 \Rightarrow 31.56 = -a \text{ ou } a = 31.56$$

Após encontrar os valores de a e b foi possível montar a Equação de regressão 7 para calcular o valor de y . Desse modo, foi possível identificar o risco potencial de degradação e realizar o diagnóstico ambiental do município de Castelo do Piauí.

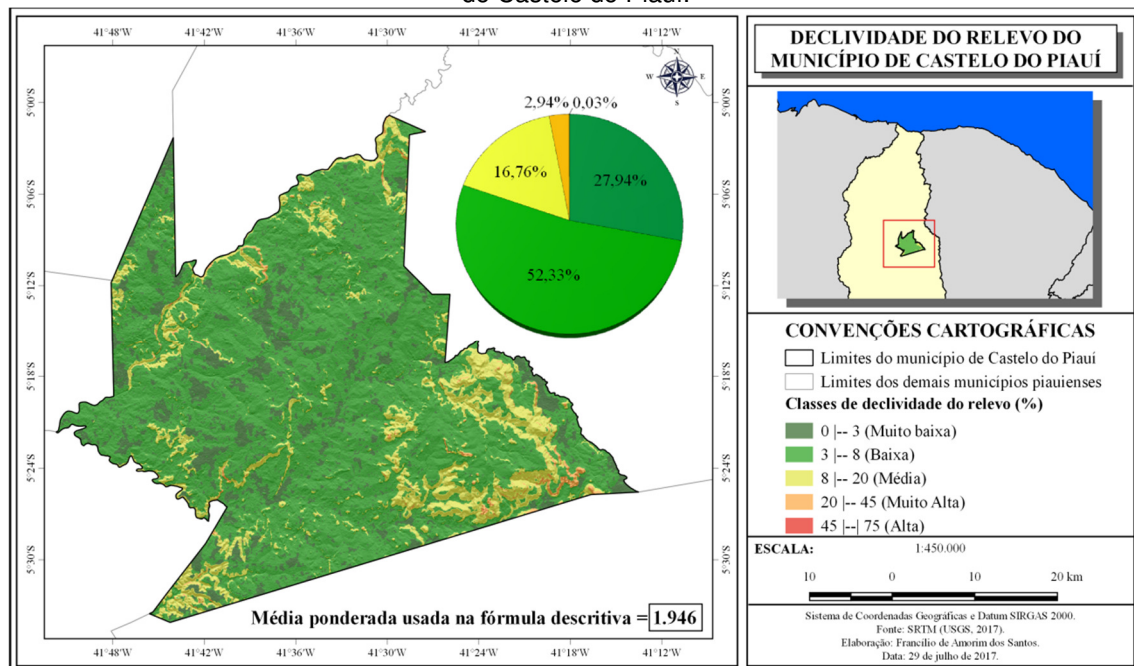
$$y = 5.26x - 31.56 \tag{7}$$

Ressalta-se que foi utilizado o programa MEDPOND, pertencente ao pacote de programas USUAI, para realização dos cálculos da média ponderada referente a cada parâmetro empregado na fórmula descritiva do DFC. Destaca-se que apenas o valor da média ponderada para o SAVI sofreu variação, devido o mesmo ter sido analisado para 2 (anos), 1997 e 2016.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de Castelo do Piauí exibe relevo com ocorrência predominantemente de superfícies tabulares dissecados em morros e colinas. As classes de declividade desse município indicam predominância de relevo plano a suave ondulado, com preponderância das classes muito baixa a baixa em 80,27% da área municipal (Figura 9). Aproximadamente 3% do relevo do município apresenta relevo forte ondulado a montanhoso, respectivamente, classes alta a muito alta, notadamente ligados às vertentes das principais formações geológicas, principalmente da formação Serra Grande. Quando realizados os cálculos da média ponderada, o parâmetro declividade contribuiu com o valor de 1.946.

Figura 9: Mapa das classes de declividade do relevo, com áreas e média ponderada, do município de Castelo do Piauí.



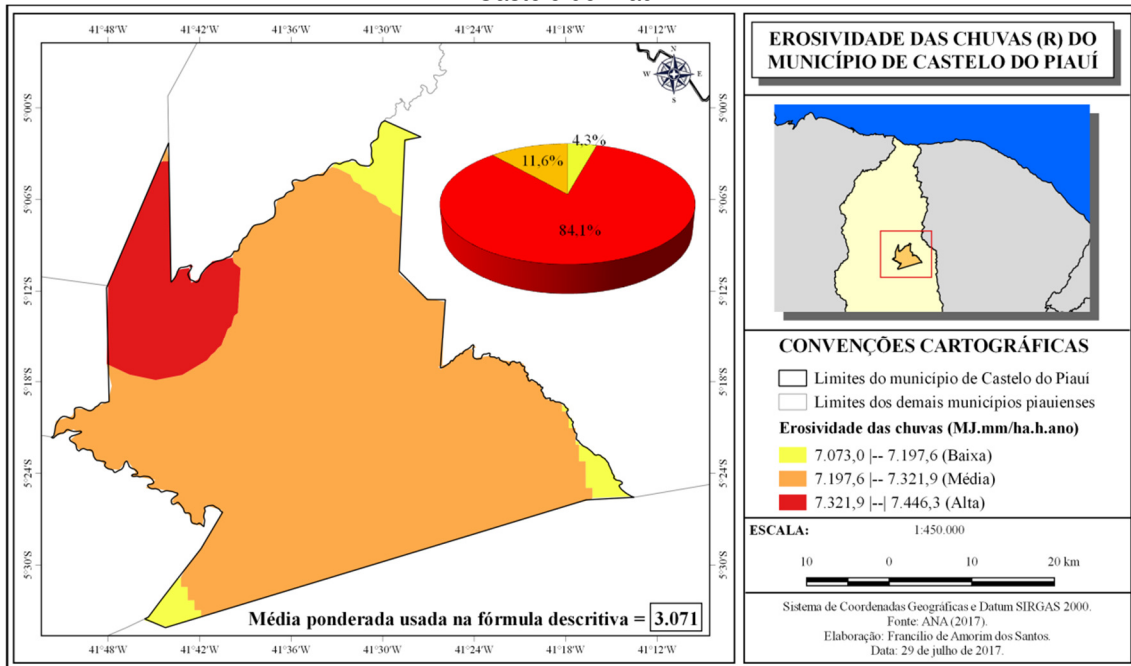
Fonte: MDE SRTM (USGS, 2017).

O fator Erosividade das chuvas (R) para o município apontou que 84,1% de sua área apresenta erosividade média (Figura 10). Por outro lado, as classes baixa e alta de erosividade ocupam 4,3% e 11,6% do município, respectivamente. É notório o grande volume de chuvas concentradas em 4 a 5 meses do ano, o que tem influência direta sobre o fator R . A média ponderada dessa variável contribuiu com o valor de 3.071.

As 4 (quatro) ordens de solos identificadas no município de Castelo do Piauí, conforme metodologia de Crepani *et al.* (2001), indicaram predomínio da classe de muito alta Erodibilidade dos solos (K),

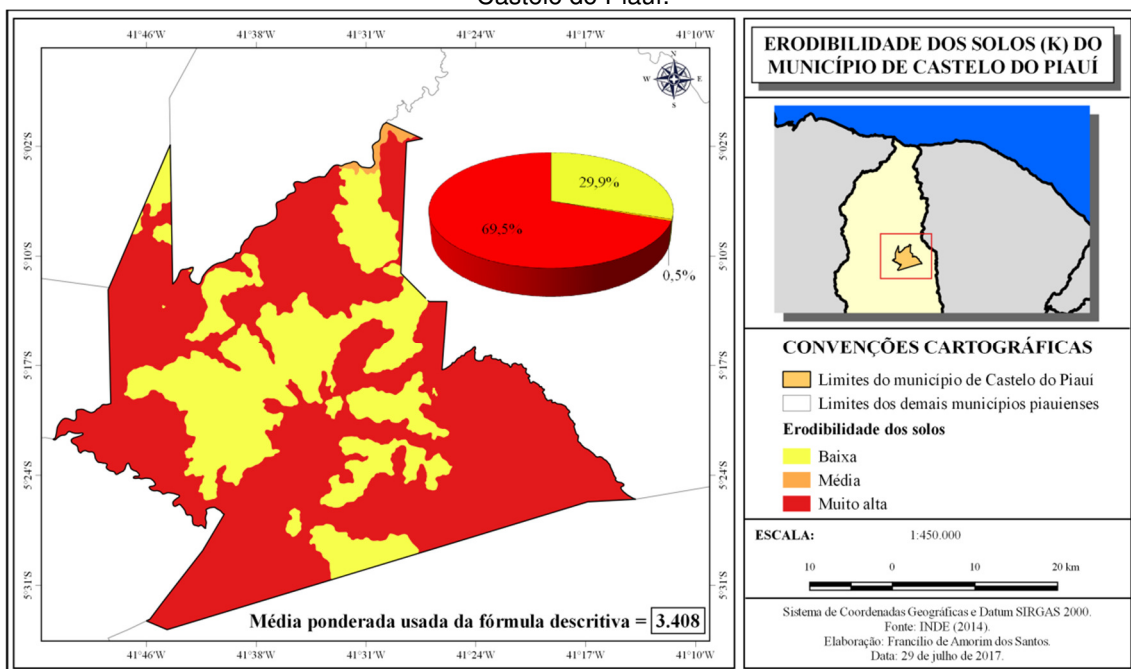
que ocupa 69,5% da área (Figura 11). Esse alto valor do fator K está relacionado à ocorrência de solos jovens e poucos desenvolvidos, particularmente os Neossolos Litólicos e os Neossolos Quartzarênicos. Por outro lado, em 29,9% e 0,5% da área foram identificados solos com baixa suscetibilidade a erosão (Latosolos) e média suscetibilidade a erosão (Planossolos). Quando realizados os procedimentos para identificação da média ponderada, o fator K contribuiu com o valor de 3.408 para a fórmula descritiva do DFC.

Figura 10: Mapa da Erosividade das chuvas (R), com áreas e média ponderada, do município de Castelo do Piauí.



Fonte: ANA (2017).

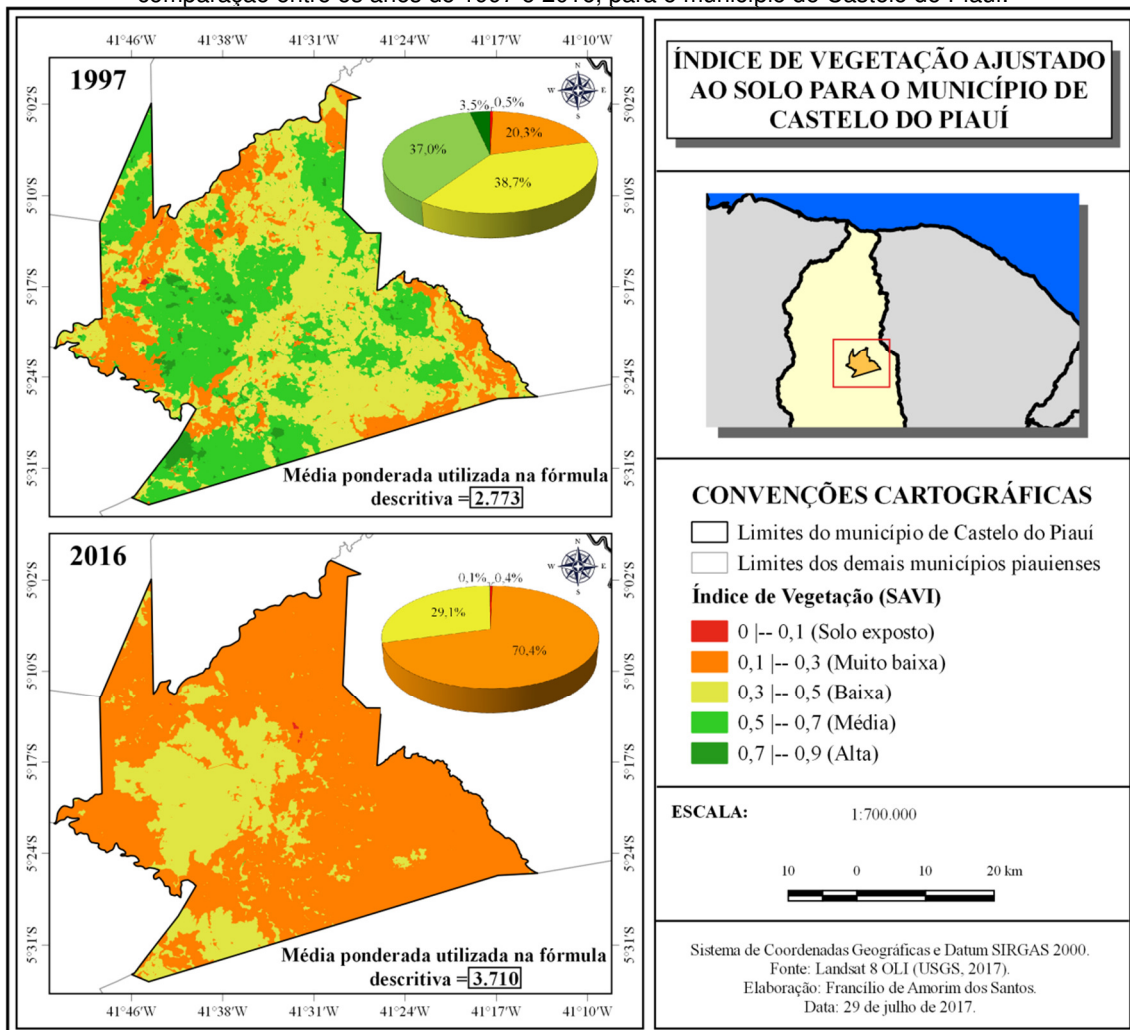
Figura 11: Mapa da Erodibilidade dos solos (K), com áreas e média ponderada, do município de Castelo do Piauí.



Fonte: INDE (2014).

O refinamento e a posterior análise das imagens dos satélites *Landsat 5* e *Landsat 8* indicaram mudanças nas classes de fisionomia da cobertura vegetal na área, considerando anos de 1997 e 2016 (Figura 12). Em 1997 havia predomínio das classes baixa a média de fisionomia da cobertura vegetal, que se distribuía por 75,7% da área. Essas classes estão relacionadas à vegetação do tipo caatinga arbustiva, o que indica uma boa proteção vegetal em relação aos solos, tendo em vista que a área não exibe vegetação de grande porte na maior parte de seu território. A média ponderada do SAVI para o ano de 1997 exibiu contribuição de 2.773 para a fórmula descritiva do DFC.

Figura 12: Mapa do Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), com áreas e média ponderada e comparação entre os anos de 1997 e 2016, para o município de Castelo do Piauí.



Fonte: USGS (2017). Elaborado pelo autor (2017).

A imagem do ano de 2016 indicou significativas mudanças no padrão da vegetação, pois houve redução em 9,6% da classe de média fisionomia, enquanto a classe muito baixa apresentou aumento da ordem de 50,1%, devido à redução em 36,9% da classe média e supressão da classe alta de fisionomia da cobertura vegetal. Deve-se destacar que a classe de solo exposto teve redução em 0,1% do ano de 1997 para 2016, o que sugere a ocorrência de um processo de sucessão ecológica e melhoria na proteção da cobertura das terras. Deve-se ressaltar que a média ponderada do SAVI para o ano de 2016 contribuiu com 3.710 para a fórmula do DFC.

Análise da fórmula descritiva final do Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC)

Por meio da Equação 7 foi possível integrar as variáveis elencadas para a construção da fórmula descritiva do DFC, visando realizar o diagnóstico ambiental da degradação dos recursos naturais do município. Conforme propõe Beltrame (1994) foi executado o somatório dos valores de todos

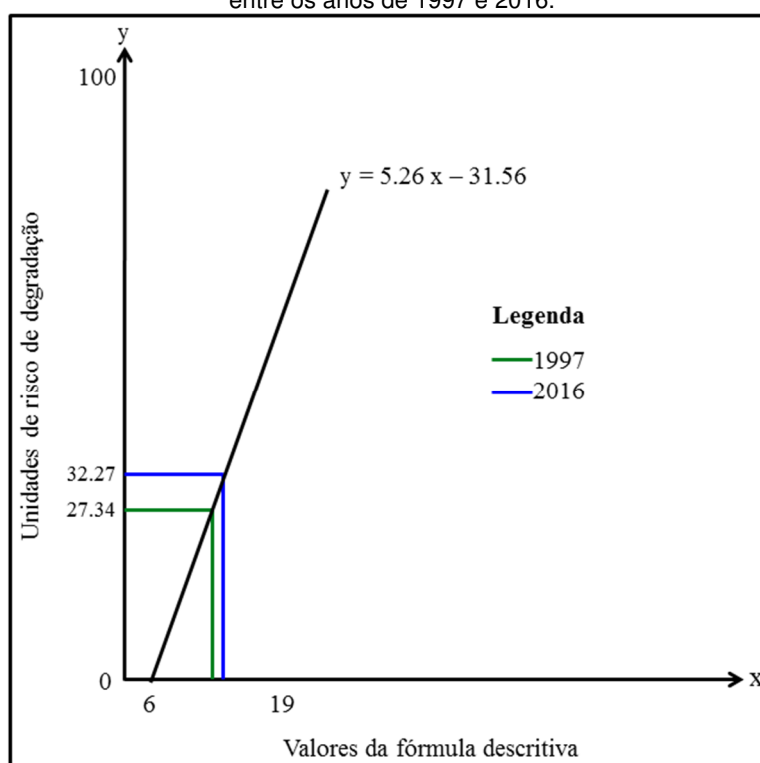
os parâmetros utilizados a partir das fórmulas descritivas estabelecidas, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Somatório dos índices analisados pelo DFC, para os anos de 1997 e 2016.

Variáveis	Médias ponderadas
Declividade média (Dm)	1.946
Erosividade das chuvas (R)	3.071
Erodibilidade dos solos (K)	3.408
SAVI em 1997	2.773
SAVI em 2016	3.710
Somatório das variáveis para 1997	11.198
Somatório das variáveis para 2016	12.135

Tomando-se como base o valor mínimo 6 (melhor qualidade ambiental) e máximo 19 (pior estado de conservação), tem-se o ângulo de inclinação da reta. A partir do DFC foi possível inferir que o risco de degradação ambiental no município, considerando os anos de 1997 e 2016, que apresentou aumento da ordem de 4.93 unidades, posto que em 1997 tenha apresentado 27.34 unidades tendo passado para 32.27 em 2016 (Figura 13). Esse dado indica aumento da degradação ambiental no município estudado.

Figura 13: Unidades do risco de degradação ambiental do município de Castelo do Piauí, comparação entre os anos de 1997 e 2016.



Pode-se inferir que o aumento no risco de degradação ambiental em Castelo do Piauí, considerando-se os anos de 1997 para 2016, está ligado às variações das atividades econômicas praticadas, particularmente a agropecuária, a extração vegetal e os cultivos, tanto permanentes como temporários. Tais atividades demandam supressão da cobertura vegetal natural para sua implementação e desenvolvimento, resultando na exposição do solo por mais tempo às intempéries.

Destaca-se que a principal lavoura permanente está ligada à produção de castanhas de caju que, como planta arbórea, tem proporcionado uma maior proteção aos solos, entre 1997 e 2015 (IBGE, 2017). Ressalte-se que embora apresente oscilações em relação à área destinada ao seu cultivo, as lavouras de arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, melancia e milho, em geral

indicaram aumento (IBGE, 2017) no período, notadamente no segundo semestre (período seco) quando o solo se torna desprotegido. Por sua vez, o aumento do efetivo bovino e da retirada da vegetação para a produção de carvão vegetal e lenha, também, tem contribuído para acentuar a degradação ambiental na área, fato inferido pela fórmula do DFC.

Deve-se lembrar que outros estudos também chegaram a resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo. Nesse contexto, destaca-se o estudo de Melo (2008) que realizou o Diagnóstico Físico Conservacionista na Microbacia do riacho dos Cavalos o qual indicou que no período de 1979 a 2006 ocorreram significativas mudanças nos níveis de vegetação nos três setores (A, B e C) da Microbacia, principalmente devido ao aumento do uso da terra para a prática agropecuária. Por sua vez, ao analisar o processo de degradação/desertificação na Bacia do riacho Feiticeiro, também com base no DFC, no município de Jaguaribe (CE), Pinheiro (2011) inferiu que o setor com menor risco à degradação é o alto curso, seguido pelo baixo e médio curso. Diga-se, ainda, que a degradação nos três setores é bem significativa, crescendo do alto para o médio e baixo curso. Contudo, de modo geral, o estudo apontou redução do risco de degradação física, visto que a degradação da vegetação tenha diminuído.

Santos (2015), por sua vez, em seu estudo sobre o mapeamento das unidades geoambientais e estudo do risco de degradação/desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, também, que se utilizou também do DFC, indicou aumento da ordem 0.08 unidades em relação à degradação ambiental, de 1985 para 2009. Fato este ocorrido devido ao aumento das atividades agropecuárias, da extração vegetal e de áreas destinadas às lavouras temporárias.

O presente estudo e os demais mencionados comprovam a eficácia do DFC como instrumento voltado ao conhecimento e diagnóstico ambiental. Posto que tenha sido possível identificar aumento no nível de degradação ambiental em Castelo do Piauí, principalmente devido à dinâmica das atividades econômicas praticadas no município em questão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia empregada, denominada de Diagnóstico Físico Conservacionista, mostrou-se satisfatória, posto que permitiu realizar o diagnóstico ambiental do município de Castelo do Piauí e, por conseguinte, conhecer o estado de conservação de seu meio físico. Nesse sentido, a área que é considerada suscetível à desertificação apresentou aumento da degradação, quando considerados os anos de 1997 e 2016.

O DFC indicou aumento de 4.93 unidades entre os anos analisados, 1997 e 2016. Esse aumento está diretamente relacionado às mudanças no padrão de fisionomia da cobertura vegetal, em que houve redução das classes de maior atividade fotossintética e aumento daqueles de menor atividade. Este fato pode ser explicado pelas variações ocorridas na prática das atividades econômicas, notadamente em relação ao aumento das áreas destinadas às lavouras temporárias, aumento do efetivo bovino e retirada da vegetação para a produção de carvão vegetal e lenha.

Cabe, ainda, salientar que em 80,27% do município estudado predomina relevo plano a suave ondulado, que em 84,1% das áreas ocorre predominância de Erosividade média e muito alta e Erodibilidade dos solos (K) distribuída por 69,5% da área.

Diante do exposto, é importante frisar que a metodologia aplicada possibilitou inferir o nível de degradação no município de Castelo do Piauí e, como tal, servirem de subsídio para as devidas adequações de planejamento de uso, além de poder ser aplicada em outras áreas do território nacional e mesmo no exterior onde ocorre o mesmo fenômeno.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AGUIAR, R.B.; GOMES, J.R.C. (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Castelo do Piauí**. – Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2004.

ANA - Agência Nacional de Águas. Hidro Web - Sistema de Informações Hidrológicas. **Séries históricas – ano de 1963 a 2001**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

AQUINO, C.M.S. **Suscetibilidade Geoambiental das terras do Estado do Piauí à Desertificação**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa Regional de Pós-Graduação / Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE. 2002.

BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. – Florianópolis: Ed. da UFSC. 1994.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, v. 13, p. 1-27, IG-USP. 1972.

BORATTO, I.M.P.; GOMIDE, R.L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: 2013, p.7.345-7.352.

BRASIL. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: de acordo com a Resolução nº 44/228 da Assembleia Geral da ONU, de 22-12-89. Estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: **Agenda 21**. – Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações. 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. Brasília: MMA. 2004.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2006. **Mapas estaduais de geodiversidade**: Piauí. Rio de Janeiro: CPRM. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br>>. Acesso em 15 de janeiro de 2014.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE. 2001.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 2009.

EMEKA, E.E. Drought and Desertification as they affect Nigerian Environment. **Journal of Environmental Management and Safety**, vol. 4, nº 1, p.45-54. Nsukka - Nigéria, 2013.

FLORET, C.; LE FLOC'H, E.; PONTANIER, R. Agriculture and desertification in arid zones of Northern Africa. Etat de l'Agriculture en Méditerranée. Les sols dans la region méditerranéenne: utilisation, gestion et perspectives d'évolution. **Cahiers Options Méditerranéennes**, vol. 2, n.1, p.39-51. Zaragoza: CIHEAM. 1993.

Gil, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. - 4. ed. - São Paulo: Atlas. 2002.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário geológico-geomorfológico**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2015. **Malha municipal digital do Brasil**: situação em 2015. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/>. Acesso em: 10 abr. 2017.

_____. **Cidades**. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2017.

INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Especiais. **Mapa de Solos da Folha SB.24 - Jaguaribe**. Escala 1:250.000. Disponível em: <<http://www.visualizador.inde.gov.br/>>. 2014. Acesso em: 27 nov. 2015.

LAL, R.; ELLIOT, 1994. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil Erosion**: research methods. Second Edition. p.180-208. Ankeny: Soil and Water Conservation Society. 1994.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas - SP. **Bragantina**, Campinas, v. 51, n. 2, p.189-196. 1992. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051992000200009>

MELO, E.T. **Diagnóstico Físico Conservacionista da Microbacia do riacho dos Cavalos – Crateús, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE. 2008.

MENDONCA, F. **Geografia física: ciência humana?** – São Paulo: Contexto. 1989.

OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L. Usuais: programas para uso em análise ambiental. **Revista Equador (UFPI)**, Teresina, PI, vol.5, n.2, p.36-60, Janeiro/Junho. 2016.

PIAUI. Gabinete do Governador. Palácio de Karnak. **Projeto de Lei Complementar nº 004, de 14 de fevereiro de 2006**. Estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o Desenvolvimento Sustentável do estado do Piauí e dá outras providências. 2006.

PINHEIRO, R.A.B. **Análise do processo de degradação/desertificação na Bacia do riacho Feiticeiro, com base no DFC, Município de Jaguaribe - Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE. 2011.

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. -- São Paulo: Oficina de Textos. 2009.

SANTOS, F.A. **Mapeamento das unidades geoambientais e estudo do risco de degradação/desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) / Universidade Federal do Piauí. 2015..

SANTOS, F.A.; AQUINO, C.M.S. Mapeamento das unidades geoambientais do município de Castelo do Piauí: subsídio ao planejamento ambiental. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.9, n.3, p.428-449, João Pessoa - PB. 2015.

SCHENKEL, C.S; MATALLO JÚNIOR, H. **Desertificação**. Brasília: UNESCO. 2001.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Eds. da UFRGS e da USP. 1993.

USGS - United States Geological Service (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Earth Explorer - Collection - **Landsat Archive**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 28 de jul. 2017.

_____. Earth Explorer - **Digital Elevation** - SRTM 1 Arc-Second Global. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 05 mai. 2017.

Recebido em: 03/08/17

Aceito em: 14/11/17