



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
DOUTORADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ALEXSANDRA FERNANDES DE QUEIROZ

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AOS ESTUDOS DE DEGRADAÇÃO
AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO SEMIÁRIDA
BRASILEIRA**

MOSSORÓ – RN

2017

ALEXSANDRA FERNANDES DE QUEIROZ

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AOS ESTUDOS DE DEGRADAÇÃO
AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO SEMIÁRIDA
BRASILEIRA**

Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Moura da Silva

MOSSORÓ – RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Q3c Queiroz, Alexsandra Fernandes de .
 CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AOS ESTUDOS DE
 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DA
 REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA / Alexsandra
 Fernandes de Queiroz. - 2017.
 56 f. : il.

 Orientador: Paulo Cesar Moura da Silva.
 Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
 do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
 Manejo de Solo e Água, 2017.

 1. Diagnóstico Ambiental. 2. Recursos naturais.
 3. Análise multicritério. 4. Geoprocessamento. I.
 Silva, Paulo Cesar Moura da, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ALEXSANDRA FERNANDES DE QUEIROZ

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AOS ESTUDOS DE DEGRADAÇÃO
AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO SEMIÁRIDA
BRASILEIRA**

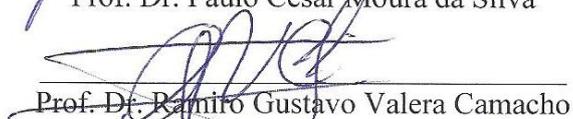
Tese apresentada ao Doutorado em Manejo de Solo e Água do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

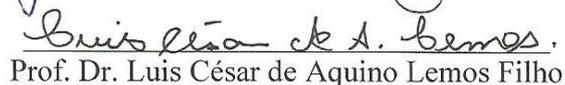
Aprovada em: 31/08/2017

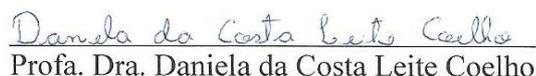
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Paulo Cesar Moura da Silva


Prof. Dr. Ramiro Gustavo Valera Camacho


Profa. Dra. Jacimária Fonseca de Medeiros


Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho


Profa. Dra. Daniela da Costa Leite Coelho

Dedico ao meu pai, Raimundo Nonato
Fernandes de Queiroz (*in memoriam*) pela
simples lembrança do seu olhar brilhar ao ver
os filhos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, através do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água - PPGMSA, pela oportunidade de cursar e concluir o Doutorado em Manejo de Solo e Água.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, Campus Caicó, pela concessão do afastamento para capacitação.

À Paulo Cesar Moura da Silva, meu orientador, pela disponibilidade em aceitar a tarefa de orientação, pelos ensinamentos e paciência em lidar com minhas inseguranças ao longo do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, que dedicaram seu tempo e trabalho no sentido de orientar meu aprendizado, mostrando os caminhos a serem seguidos nas pesquisas que contribuem com um uso mais racional do solo e da água.

Aos colegas da Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, por todos os momentos de aprendizado e alegria compartilhados.

A todos os meus amigos, em especial Jacimária Fonseca de Medeiros, Juciléa Medeiros de Azevedo, José Carlos Gomes Batista, Iza Maria Pereira, Cícero Nilton Moreira e Tereza Sandra Loiola Vasconcelos, pela amizade sincera, companheirismo e torcida para que meus sonhos sejam alcançados.

Aos amigos que fiz ao ingressar no IFRN, Campus Caicó, em especial a Mirelly Karolinny de Melo Meireles, Ruth Medeiros de Oliveira, Francisca Jucileuda da Silva Sousa e Giancarlos Costa Barbosa.

A minha querida vizinha Dezuite Cavalcante da Costa, pelo carinho e zelo, e também por servir de exemplo, mostrando-se sempre forte diante das adversidades da vida.

Às minhas sobrinhas, Ana Carolina Fernandes Souza e Anne Beatriz Fernandes do Nascimento, pelo amor e carinho a mim dedicados.

À minha irmã, Luzia de Marilac Fernandes de Queiroz, pelo apoio incondicional, carinho e dedicação.

A todos os professores que contribuíram com minha formação, em especial aos do Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

Há uma tendência na atualidade dos estudos ambientais utilizarem a bacia hidrográfica como unidade de pesquisa, levando em consideração que a mesma tem a vantagem de integrar diversos aspectos ambientais, como também sociais e econômicos. Nesse contexto há uma diversidade de metodologias que visam realizar a caracterização e o estado ambiental das bacias hidrográficas, com o intuito de orientar as formas de uso e ocupação das mesmas. Partindo desses pressupostos, a presente pesquisa teve como objetivo realizar um Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) para determinar o potencial de degradação ambiental na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros/RN, por meio de análise multicritério e utilização de ferramentas geoespaciais livres e gratuitas. A metodologia foi baseada numa adaptação do DFC por meio da análise multicritério com o apoio de geotecnologias, como imagem de sensoriamento remoto (Satélite Landsat 8) e softwares livres de Sistema de Informação Geográfica (SIG) como o QGIS 2.14 e o SPRING 5.5. No processo de análise foram utilizados quatro fatores: declividade, classes de solos, cobertura vegetal do solo e erosividade. Para cada fator foram atribuídas diferentes classes e definidos os pesos por meio da ponderação de importância de cada fator através do método AHP (Processo Analítico Hierárquico) para definir a contribuição e o potencial à degradação natural da área. Na agregação dos quatro fatores, foi utilizada a Combinação Linear Ponderada, que resultou na produção do mapa com a distribuição das classes de potencial à degradação natural da área. Foi constatado por meio dos resultados, que entre os fatores avaliados o que mais contribuiu com o mapa final do DFC, o qual representa as classes de potencial à degradação natural da área, foi a Declividade, com 52,9 %, seguidos pelo fator classes de solos com 31,5 %, fator Cobertura Vegetal do solo com 10,5 % e Erosividade com 5,1 %. Constatou-se ainda que as classes de potencial à degradação natural do ambiente na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros variaram predominantemente de Muito Fraca a Moderada. A análise multicritério foi eficiente e constituiu-se em uma importante ferramenta no mapeamento da área de estudo e o DFC possibilitou uma visão geral da condição de degradação natural da área de estudo.

Palavras-chave: Diagnóstico Ambiental; Recursos naturais; Análise multicritério; Geoprocessamento.

ABSTRACT

Today, there is a tendency of environmental studies using the watershed as a research unit, taking into account that it has the advantage of integrating various environmental aspects, as well as social and economic. In this context, there is a diversity of methodologies that aim to perform the characterization and environmental status of catchment areas, with the aim of guiding the forms of use and occupation thereof. Considering these assumptions, the present research aimed to accomplish a Physical-Conservationist Diagnosis (FCD) to determine the environmental degradation potential in the subwatershed of Pau dos Ferros/RN, through a multi-criteria analysis and the use of free geospatial tools. The methodology was based on an adaptation of the FCD by multi-criteria analysis with the support of GeoTechnologies, as image of remote sensing (Landsat 8 Satellite) and free software OF Geographical Information System (GIS) as the QGIS 2.14 and the SPRING 5.5. In the process of analysis, it was used four factors: slope, soils classes, soil vegetation cover classes and erosivity. For each factor, it was assigned different classes and the weights were defined by means of weighting of importance of each factor using the AHP (Analytic Hierarchical Process) to define the contribution and potential natural degradation of the area. In the aggregation of the four factors, Weighted Linear Combination was used, which resulted in the production of the map with the classes distribution to the potential natural degradation of the area. It has been found through the results, that among the factors evaluated what else contributed to the final map of the FCD, which represents the soil classes natural degradation potential of the area was slope, with 52.9%, followed by the soil classes factor with 31.5%, soil vegetation cover, with 10.5% and erosivity with 5.1%. It was noted that the potential classes to the environmental natural degradation in the subwatershed of Pau dos Ferros/RN ranged mostly from very weak to moderate. The multi-criteria analysis was efficient and consisted in an important tool in mapping the area of study and the FCD made possible an overview of the natural degradation condition of the study area.

Keywords: Environmental Diagnostics; Natural resources; Multi-criteria analysis; Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.....	22
Figura 2: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de declividade. ...	38
Figura 3: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de solos.....	40
Figura 4: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de cobertura vegetal do solo.	42
Figura 5: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de erosividade. ...	43
Figura 6: Gráfico de médias de Erosividade por município da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.	44
Figura 7: Distribuição da Erosividade média mensal para os municípios da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.	45
Figura 8: Mapa do Diagnóstico Físico-Conservacionista da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre as classes de fragilidade e a declividade.....	28
Tabela 2: Relação entre as classes de fragilidade e os solos.	29
Tabela 3: Relação entre as classes de fragilidade e a cobertura vegetal do solo.....	29
Tabela 4: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.....	31
Tabela 5: Classes para interpretação do índice de erosividade anual.....	33
Tabela 6: Classes para interpretação do índice de erosividade anual adaptadas.	33
Tabela 7: Hierarquização da matriz de comparação pareada.	35
Tabela 8: Valores da intensidade de importância dos fatores.	35
Tabela 9: Classes de potencial à degradação natural quanto à declividade.....	37
Tabela 10: Adaptação da relação entre as classes de fragilidade e os solos da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros..	39
Tabela 11: Classes de potencial à degradação natural quanto às classes de solos.	39
Tabela 12: Classes de potencial à degradação natural quanto à cobertura vegetal do solo.	41
Tabela 13: Classes de potencial à degradação natural quanto à erosividade.....	43
Tabela 14: Pesos de importância dos fatores do DFC.	46
Tabela 15: Quantificação das classes de potencial à degradação natural ambiental do DFC.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - Analytic Hierarchy Process

AMC - Avaliação Multicritério

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CIDIAT - Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras

CLP - Combinação Linear Ponderada

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CR - Consistency Ratio

DFC - Diagnóstico Físico-Conservacionista

DIBH - Diagnóstico Integral de Bacias Hidrográficas

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

EI - Índice de Erosividade

EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW - Inverso da Distância Ponderada

IEMA - Índice de Estado do Meio Ambiente

MARNR - Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

MDE - Modelo Digital de Elevação

OMM - Organização Mundial de Meteorologia

PE - Potencial erosivo do solo

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RN - Ruggdeness Number

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

TauDEM - Terrain Analysis Using Digital Elevation Models

USGS - United States Geological Survey

USLE - Universal Soil Loss Equation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 A bacia hidrográfica como unidade de análise ambiental	15
3.2 Aplicações da metodologia do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC)	17
3.3 Avaliação multicritério como ferramenta de auxílio ao DFC	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Localização e descrição da área de estudo	22
4.1.1 Clima, litologia e relevo	23
4.1.2 Solos e vegetação	24
4.2 Aquisição dos dados e softwares utilizados.....	27
4.3 Elaboração dos mapas temáticos para os fatores analisados	28
4.3.1 Declividade.....	28
4.3.2 Classes de solos.....	28
4.3.3 Cobertura vegetal do solo.....	29
4.3.4 Erosividade.....	29
4.4 Normalização e ponderação dos fatores.....	34
4.5 Combinação linear ponderada.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 Declividade.....	37
5.2 Classes de solos	38
5.3 Cobertura vegetal do solo	41
5.4 Erosividade	42
5.5 Diagnóstico Físico-Conservacionista	45
6 CONCLUSÕES	49
7 REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais é uma problemática muito discutida e pesquisada atualmente, devido principalmente às consequências que são geradas para a sociedade. O uso incorreto e indiscriminado da água e do solo pode ser colocado como uma das questões mais preocupantes, em relação aos demais recursos naturais existentes. Além da degradação advinda das atividades antrópicas, o ambiente pode apresentar características físicas como a geologia, formas de relevo, solo, vegetação e clima, que condicionam um potencial maior de sofrer alterações e ser degradado.

Nesse contexto, é importante a realização de estudos que visam conhecer as características físicas do ambiente afim de subsidiar o planejamento e uso de uma determinada área. Sobre isso, Neves (2012) destaca que o processo de apropriação e exploração ambiental demanda diagnósticos que contemplem as necessidades de se prevenir impactos ambientais considerados negativos, tanto com o propósito de minimizar as degradações já existentes, quanto para proporcionar informações técnicas que contribuam para o planejamento de ações mitigadoras.

No que diz respeito à região semiárida brasileira, os estudos ambientais devem ser priorizados, uma vez que a má gestão dos recursos naturais pode gerar consequências mais sérias, devido a algumas fragilidades existentes, principalmente decorrentes dos elementos climáticos, como má distribuição das precipitações e altas taxas de evapotranspiração. Cirilo, Montenegro & Campos (2010) colocam que as características edafoclimáticas e socioeconômicas do semiárido brasileiro requerem tecnologias específicas de utilização e conservação dos recursos hídricos.

Os estudos ambientais tendo como recorte espacial as Bacias Hidrográficas são utilizados com muita frequência na atualidade. No Brasil, as décadas de 1980 e, principalmente, a de 1990 são marcadas por inúmeros trabalhos que têm na bacia hidrográfica sua unidade fundamental de pesquisa, em detrimento das áreas de estudo anteriormente utilizadas, como as unidades político-administrativas, ou aquelas delimitadas por linhas de coordenadas cartográficas, formando quadrículas definidas em cartas topográficas (BOTELHO, 2015).

Merten et al. (2007) colocam que a utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo para trabalhos nas áreas das ciências agrárias, exatas e da Terra, tem a vantagem de integrar aspectos ambientais, econômicos e sociais que envolvem o gerenciamento e manejo dos recursos naturais (solo, água, biodiversidade, dentre outros).

No que diz respeito à região que está inserida a Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros, há uma carência de estudos nessa temática e com esse recorte espacial, o que justifica a realização da pesquisa. Foi implementada por Rocha (2008) a aplicação do Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC na Microbacia do município de Luís Gomes-RN, porém, o diagnóstico em uma escala geográfica maior se faz necessário, tendo em vista a importância que a Sub-Bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros tem para todos os municípios que estão inseridos na mesma.

É notória a degradação dos recursos naturais presentes na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros, como consequência da ação humana desordenada, como foi constatado por Rocha (2008), estudando a microbacia do município de Luís Gomes-RN, trecho referente ao alto curso do Rio Apodi-Mossoró, por Minora, Amaro & Boori (2010) e Rocha (2011) estudando o baixo curso desse mesmo rio.

As condições naturais da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros evidenciam a necessidade de estudar e analisar o estado de degradação ambiental, considerando que as diversas formas de uso e ocupação do solo pelas atividades econômicas como agricultura, pecuária, o crescimento sem planejamento das cidades, o lançamento de resíduos sólidos e líquidos sem o devido tratamento entre outras situações, podem acelerar os processos que alteram negativamente o ambiente. Um exemplo facilmente visível é a ocorrência do desmatamento, como foi constatado por Carvalho (2011) e Carvalho & Kelting (2012).

Carvalho (2011) analisou os sistemas ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró como forma de subsidiar a proposição de diretrizes para o planejamento ambiental em macro e mesoescalas. O mesmo autor aponta que os municípios desta bacia devem promover diagnósticos com um nível de detalhe maior, permitindo assim a implementação de zoneamentos locais em consonância com as proposições do macroplanejamento.

Carvalho (2011) e Carvalho & Kelting (2012) aplicando o Índice de Estado do Meio Ambiente (IEMA), que compara os percentuais de áreas com capacidade de suporte baixa e áreas desmatadas, identificaram que no médio curso superior da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, os municípios associados aos maciços residuais apresentam elevados percentuais de áreas com capacidade de suporte baixa, assim como também foi constatado que 26 % da área está desmatada. No alto curso da bacia, o desmatamento é igual ou superior a 50%.

Carvalho (2012) alerta sobre os diversos impactos e desequilíbrios gerados em bacias hidrográficas pelo desmatamento, e destaca que é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas ambientais, o monitoramento do desmatamento, a proposição de formas adequadas de manejo da vegetação, do solo e da água, a recuperação de áreas degradadas, entre outras ações.

É sabido que “a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno. O efeito da vegetação pode ser assim enumerado: (a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; (b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; (c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água; (d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; (e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície” (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

Dáí surge a necessidade da realização de levantamentos e diagnósticos ambientais que sirvam de suporte e orientação para a adoção de medidas apropriadas para assegurar e controlar a ocupação e uso racional dessa sub-bacia. O DFC poderá servir como suporte para que tais medidas de controle e planejamento do uso da área que está inserida a sub-bacia, sejam propostas. A utilização da análise multicritério no DFC é inédita, o que pode render resultados mais precisos, com menos subjetividade da área de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar um Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC) para determinar o potencial de degradação ambiental na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros/RN.

2.2 Objetivos específicos

- Delimitar a Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros;
- Realizar a caracterização física/ambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros;
- Determinar os parâmetros norteadores do DFC na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros;
- Aplicar a análise multicritério para a avaliação dos dados ambientais que norteiam o DFC na área de estudo com técnicas de geoprocessamento;
- Determinar as variáveis utilizadas na análise multicritério – AHP (*Analytic Hierarchy Process*);
- Elaborar mapas temáticos a partir das variáveis utilizadas no DFC;
- Determinar o estado físico-conservacionista da área de estudo;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A bacia hidrográfica como unidade de análise ambiental

Ao se analisar a evolução metodológica em pesquisas realizadas em ambientes físico-naturais nas mais diversas áreas, é perceptível e indiscutível a adoção da bacia hidrográfica como uma ferramenta eficiente, no tocante a fácil delimitação e identificação dos elementos constituintes.

A delimitação da bacia hidrográfica se torna fácil, tendo em vista a localização em porções definidas do relevo, conforme ressaltado por Merten et al. (2007),

bacia hidrográfica é o termo utilizado para descrever uma área topográfica na qual toda a água precipitada sobre ela é drenada superficialmente para um tributário. Sua área geográfica é delimitada por divisores de água, onde a precipitação pluvial é escoada por meio de uma rede de canais, riachos e rios, em direção ao ponto de menor cota que é denominado exutório da bacia ou para um aquífero.

Quanto ao estado da arte acerca da bacia hidrográfica, evidencia-se uma diversidade em termos teóricos, porém há certo consenso, conforme destacado por Rodrigues & Adami (2009), quanto à precisão conceitual em torno desse sistema hidrológico e geomorfológico.

Ademais é possível ampliar essa abrangência conceitual, a partir de Ross (1998), que define a bacia hidrográfica como uma unidade natural, cujo elemento integrador está representado pelos leitos fluviais ou canais de drenagem naturais, e que embora se constitua em um sistema natural cujo referencial é a água, não se torna automaticamente um único sistema ambiental, quando se levam em conta as demais componentes da natureza, como relevo, solos, subsolo, flora e fauna, bem como as atividades econômicas e político-administrativas. Todos os elementos que compõem a bacia hidrográfica devem ser atrelados e compreendidos numa análise mais sistêmica e integradora.

Nesse sentido torna-se pertinente conceituar a bacia hidrográfica numa visão mais ampla, sob a ótica da Teoria Geral dos Sistemas (Bertalanfy, 1973). Assim, a bacia hidrográfica se define como um sistema aberto, caracterizado pelas constantes trocas de energia e matéria, bem como pela sua estrutura. A matéria corresponde ao material que vai ser mobilizado, a exemplo a água e os detritos; a energia é representada pelas forças que fazem o sistema funcionar, gerando a capacidade de realizar trabalho, e a estrutura do sistema é formada pelos elementos e suas relações, o que é expresso por meio do arranjo de seus componentes (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A compreensão da bacia hidrográfica a partir de um conceito sistêmico, torna-se essencial, o que traz como consequência uma visão e entendimento do todo, conforme explicitado por Guerra & Marçal (2012),

entender a complexidade dos sistemas dinâmicos que compõem a natureza ou, melhor, a paisagem, com toda sua dinâmica de evolução e transformação imposta pela sociedade ao longo dos anos, constitui-se em um grande desafio. A busca de metodologias que permitam dimensionar a paisagem para se projetarem ao longo dos anos, um planejamento adequado à realidade imposta e as possibilidades de mudanças aleatórias impostas ao sistema ambiental constitui-se em um desafio ainda maior.

Em termos práticos e metodológicos, Tundisi (2014) e Tundisi & Matsumura Tundisi (2011) ressaltam que a bacia hidrográfica fornece uma base biogeofisiográfica relevante para estudos integrados e para a gestão de recursos hídricos, além de oferecer subsídios para estudos interdisciplinares, gerenciamento dos usos múltiplos e conservação, corroborando a importância das bacias hidrográficas como unidade de estudo, planejamento e gestão dos recursos naturais.

Além da abordagem sistêmica é importante também considerar a questão da escala geográfica. Tundisi e Matsumura Tundisi (2011) colocam que a bacia hidrográfica é uma unidade física com fronteiras delimitadas, que pode “estender-se por várias escalas espaciais, desde pequenas bacias de 10, 20 ou 100 a 200 km² até grandes bacias como a bacia do Prata, que tem extensão em torno de 3.000.000 km²”. Seguindo essa discussão, Moraes (2016), acrescenta que “a bacia hidrográfica deve ser entendida como um sistema interligado, sendo que a subdivisão de grandes bacias em bacias menores (sub-bacias) facilita o diagnóstico e o monitoramento ambiental”.

Salienta-se que durante as etapas de diagnóstico e monitoramento ambiental é imprescindível conhecer as potencialidade e limitações de uso e ocupação de determinada área, a partir dos dados acerca de seus atributos físicos, como clima, geologia, relevo, solos, rede de drenagem e vegetação (BOTELHO, 2015).

O mesmo pensamento deve ser aplicado nos estudos que têm como recorte espacial as bacias hidrográficas, tendo em vista que as características ambientais são determinantes para as formas de uso e ocupação que são estabelecidas na área. A construção do conhecimento e a proposição de diagnósticos com esse enfoque possibilitam a elaboração de um planejamento e gestão da área que respeitam as vulnerabilidades do ambiente e aproveitam de forma mais sustentável os recursos disponíveis. Botelho (2015) alerta que é preciso orientar a ocupação

humana com a finalidade de resguardar as áreas destinadas à preservação ambiental, tendo em vista a conservação dos recursos naturais.

Muitos são os impactos ambientais visualizados nas bacias hidrográficas, “dessa forma, é preciso conhecer a sua formação, constituição e dinâmica, para que as obras de recuperação não sejam apenas temporárias e sem eficácia, bem como possa ocorrer um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, sem que haja desperdício e, ao mesmo tempo, sem acontecerem os danos ambientais que estamos acostumados a ver em diversas bacias hidrográficas brasileiras” (GUERRA & MARÇAL, 2012).

No contexto da legislação brasileira, a Lei 9.344/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), estabelece no Artigo 1, inciso V, que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Nessa mesma lei, no Artigo 3, inciso II, é considerada a complexidade do manejo da bacia hidrográfica, bem como, a necessidade de adequação da gestão dos recursos hídricos às diversidades bióticas, demográficas, econômicas, sociais, culturais, entre outros apontamentos (BRASIL, 1997).

Assim sendo, corrobora-se com a ideia de que a bacia hidrográfica é uma das referências espaciais mais consideradas em estudos do meio físico e que atualmente subsidia grande parte da legislação e do planejamento territorial e ambiental no Brasil e em muitos outros países (RODRIGUES & ADAMI, 2009).

3.2 Aplicações da metodologia do Diagnóstico Físico-Conservacionista (DFC)

Os estudos realizados em áreas de bacias hidrográficas utilizam-se das mais variadas metodologias para fins de diagnósticos e caracterização dos elementos do meio físico e antrópico, dentre estas e considerando o objetivo desta tese, focar-se-á no diagnóstico físico conservacionista.

O Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) tem como objetivo determinar o potencial de degradação ambiental de uma bacia hidrográfica a partir de fatores naturais, (FERRETI, 2003; CARVALHO, 2013). Baracuhy et al., (2003) acrescenta que o diagnóstico conservacionista para avaliar a deterioração ambiental deve ser a primeira fase na elaboração de um planejamento para uma bacia, sub-bacia ou microbacia hidrográfica.

O estado ambiental da bacia, identificado após aplicação do DFC, constitui um subsídio básico para programas de extensão rural e/ou projetos que visem à recuperação ambiental da

área, pois fornece indicativos para a racionalização do uso e manejo dos recursos (FERRETI, 2003).

A proposta do DFC teve suas bases em trabalhos desenvolvidos pelo Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras (CIDIAT) e pelo Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MARNR), ambos na Venezuela. O CIDIAT e MARNR trabalham com diagnósticos definidos a partir da integração de fatores físicos, socioeconômicos, fauna, dentre outros (BELTRAME, 1994).

Na realidade brasileira, Beltrame (1994) se destaca como pioneira na aplicação desta metodologia, aplicando-a na Bacia do Rio Cedro, em Brusque-SC. Tendo em vista a abrangência dos fatores abordados nos trabalhos da Venezuela, a autora supracitada opta pela utilização de fatores de ordem física, determinando quatro destes como grandes fatores potenciais de degradação física. O primeiro fator é a vegetação, considerada sob dois aspectos: grau de semelhança entre a cobertura vegetal atual e a cobertura vegetal original, definindo assim o parâmetro (CO). O segundo fator é o clima, levando em consideração dois aspectos: erosividade da chuva, que define o parâmetro E, e o balanço hídrico, definido como parâmetro (BH). No terceiro grande fator são colocadas as características geológicas e pedológicas, considerando dois aspectos: a suscetibilidade da textura à erosão, associada à declividade, que corresponde ao parâmetro PE, e a densidade de drenagem, parâmetro (DD). E por fim, as características do relevo, tendo por base a declividade média, parâmetro (DM), como também são observados a geomorfologia, a curva hipsométrica, a altura média, o coeficiente de massividade e o coeficiente orográfico.

Como é destacado por Beltrame (1994), bacias com área até 7.000 ha são adequadas para a realização de diagnósticos do meio físico. A autora aponta que o DFC, que tem como base os fatores naturais, necessita estar integrado a outros diagnósticos mais específicos, como socioeconômico, de qualidade da água, fauna, entre outros, que poderão compor um diagnóstico mais detalhado, o que é denominado Diagnóstico Integral de Bacias Hidrográficas (DIBH).

Ainda sobre a replicabilidade do DFC, Carvalho (2004), Baracuhy et al. (2003), Melo (2010), Paz (2013), Rocha (2008), entre outros pesquisadores, utilizaram o DFC em diversas regiões do Brasil, nestas pesquisas, conclusivamente é possível evidenciar a eficiência da metodologia para estudos ambientais em bacias hidrográficas.

Neves (2012) que aplicou a metodologia para analisar a degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas no Rio Grande do Sul, considerando que tal metodologia mostrou-se eficiente para a análise da degradação ambiental na bacia, acrescentando que “não se trata apenas de uma questão de simples aplicação, mas sim de acréscimo e aperfeiçoamento de soluções para a aquisição dos índices dos parâmetros”.

Chueh & Santos (2005) utilizaram a mesma fórmula descritiva, com adaptações, proposta por Beltrame (1994) para aplicar o DFC na Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais, Paraná. Como previsto pelos autores, a metodologia foi eficiente na avaliação da degradação física da bacia hidrográfica.

A mesma fórmula descritiva foi utilizada por Paz (2013) e Carvalho (2004) ao desenvolver suas pesquisas e identificar o estado ambiental das bacias hidrográficas do ribeirão Lajes em Aragominas, Tocantins e a do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa, PR, respectivamente. De acordo com esses autores, o DFC foi eficiente para diagnosticar os principais fatores potenciais de degradação dos recursos naturais nas bacias hidrográficas supracitadas.

Carvalho (2013) comparou e adaptou duas metodologias diferentes de avaliação de qualidade ambiental: a do “Diagnóstico Físico-Conservacionista - DFC”, de Beltrame (1994) e a de “Fragilidade ambiental” de Crepani et al. (1996). A pesquisa foi desenvolvida em quatro bacias hidrográficas no município de Ilha Solteira – SP, com o intuito de construir um modelo cartográfico mais limpo e de fácil interpretação. A autora observou que a aplicação da metodologia de Fragilidade ambiental, revelou um ambiente mais fragilizado do que o real, e que adaptando o modelo numérico para o cartográfico do DFC, o resultado gerado foi bem detalhado, tendo em vista que o modelo abrange diversos indicadores.

A aplicação de diagnósticos ambientais pode acontecer de forma mais ampla, analisando elementos que vão além das características físicas naturais da bacia hidrográfica, como o que foi realizado por Santos (2009), que objetivou fazer o diagnóstico físico-econômico-ambiental, de uma bacia hidrográfica em Botucatu-SP, levantando dados da intervenção e ocupação antrópica da área, visando sua sustentabilidade ambiental. O DFC foi uma das metodologias utilizadas com o intuito de orientar a distribuição espacial das terras considerando sua aptidão para a agricultura, pecuária e/ou florestamento.

Mendonça (2005) também aplicou o DFC para caracterizar o uso da terra numa microbacia hidrográfica, em Sapé-PB, por meio da determinação do Coeficiente de Rugosidade (*Ruggdeness Number* – RN), parâmetro que classifica o potencial da terra para o uso com a agricultura, pastagem e/ou florestamento. Além do DFC, o autor utilizou também outros diagnósticos como o socioeconômico e ambiental (direcionado para identificar os principais elementos poluentes diretos do meio ambiente). A junção dos três tipos de diagnósticos possibilitou concluir que a microbacia estudada apresenta um ambiente com boas qualidades agroambientais, caracterizadas pelas baixas expectativas de processos erosivos e a indicação de aproximadamente 60 % de terras aptas para uso agrícola.

Brito & Leite (2015) aplicaram apenas um dos parâmetros usualmente utilizados no DFC, que se refere ao “Potencial erosivo do solo (PE)”, para avaliar o potencial natural da bacia

hidrográfica do Rio Água Suja no Tocantins. Os autores concluíram que a pesquisa rendeu resultados satisfatórios, uma vez que permitiu caracterizar o potencial erosivo dos solos em diferentes paisagens da microbacia estudada.

Como pode ser constatado nas discussões, o DFC possibilita ser aplicado de acordo com os objetivos de cada pesquisador, bem como pode ser adaptado e utilizado outros parâmetros que representem melhor a bacia hidrográfica ora analisada. Assim percebe-se que a metodologia é passível de adaptações que devem considerar as condições e peculiaridades próprias da área de estudo. Beltrame (1994) diz que outras sugestões e adequações podem vir a enriquecer e aproximar cada vez mais da realidade para a qual irá servir a proposta de metodologia do DFC.

3.3 Avaliação multicritério como ferramenta de auxílio ao DFC

Uma etapa primordial para a realização do DFC é a definição dos critérios e índices específicos. No entanto, demanda um cuidado especial, considerando que as decisões tomadas pelo pesquisador podem comprometer ou até mesmo manipular determinados resultados, que poderão não ser fiéis à representação da realidade estudada ou mesmo incutir no erro da subjetividade.

Os modelos matemáticos são utilizados nas pesquisas, com o intuito de eliminar ou pelo menos diminuir os erros decorrentes da subjetividade humana. Dentre estes, destaca-se a Avaliação Multicritério (AMC).

Dentre os métodos desenvolvidos na vertente da Avaliação Multicritério (AMC), destaca-se o Processo Analítico Hierárquico (AHP – *Analytic Hierarchy Process*).

O AHP foi desenvolvido por Saaty (1977) e inicialmente o método foi pensado para auxiliar na tomada de decisões na área de administração. Contudo, na atualidade está sendo utilizado em diversas áreas como negócios, planejamento urbano e regional, gerenciamento de recursos naturais, meio ambiente, apoio à análise espacial, entre outros (RAFFO, 2012).

Sobre a conceituação do AHP, Raffo (2012) diz que se trata de uma metodologia matemática que tem como objetivo ponderar quantitativamente variáveis mediante a interação do pesquisador com o modelo matemático e fazer isso em forma de considerações qualitativas. Com relação à análise espacial, o mesmo autor diz que o AHP tem a função de atribuir pesos aos diversos mapas a serem cruzados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) e ponderar às diversas classes temáticas de cada mapa.

Sobre a Avaliação Multicritério (AMC) e a Análise Hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*), Brito, Weber & Passuello (2017), dizem que tais técnicas possibilitam

comparar diferentes cenários, a partir múltiplos critérios e opiniões de diversos especialistas, com o objetivo de auxiliar os tomadores de decisão.

Os mesmos autores aplicaram a avaliação multicritério para mapear a suscetibilidade a escorregamentos em um bairro no estado do Rio Grande do Sul. Eles concluíram que a AMC reduz a subjetividade inerente à atribuição de pesos às variáveis condicionantes dos escorregamentos, dando mais clareza e transparência a esse processo e que a técnica AHP potencializa o uso das informações disponíveis, permitindo avaliar a suscetibilidade de uma maneira transparente. No entanto, ressaltam que o mapa de suscetibilidade elaborado não pode ser entendido como de caráter definitivo, mas sim um instrumento de suporte para facilitar o monitoramento dos lugares mais críticos, sendo indispensável a validação *in loco*.

Ribeiro et al., (2016) utilizaram o AHP para avaliar a vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Mandu, sul de Minas Gerais. Foram utilizados como componentes da paisagem: o uso do solo, relevo, solo, geologia e clima. Os autores destacam que a modelagem feita com auxílio do AHP foi eficiente na classificação de 92,51% da área, mas que as observações de campo foram fundamentais para a obtenção de resultados mais fidedignos à área.

Dias & Silva (2014) também utilizaram o AHP para definir os pesos e modelar a vulnerabilidade ambiental do Minicorredor Ecológico Serra das Onças (BA). Os critérios utilizados para a pesquisa foram: Mapa de declividade, Geologia, Solos, Uso da Terra/Cobertura Vegetal. Assim como nos outros trabalhos que utilizam o AHP, foi feita a comparação pareada dos critérios analisados, baseado em uma escala de 1 a 9 do fator da linha com o da coluna, como foi proposto por Saaty (1977). Os autores apontam que o modelo se mostrou bastante satisfatório, tendo em vista que o AHP atenuou a subjetividade na ponderação dos atributos dos mapas temáticos, e que a partir da fórmula final de razão de consistência, possibilitou admitir com mais segurança a análise dos mapas.

Falcão (2013) fez uso da análise multicritério para avaliar os níveis de degradação das terras da bacia hidrográfica do Açude Juá, em Boa Vista-PB. Os critérios relativos ou fatores utilizados foram: Ocupação do solo, Tipo de solo, Declividade e Moradias. Como resultado final foi obtido um mapa temático representado por cinco classes de nível de risco ao processo de degradação da bacia: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo. O critério ocupação do solo teve participação maior no potencial de risco à degradação ambiental na bacia estudada, com peso de 68,50 %, superior ao critério de Tipo de solo (peso de 18 %), Declividade (peso de 9,7 %) e Moradia (peso de 5,8 %).

Ao analisar as pesquisas supracitadas, destaca-se a significativa contribuição no tocante à disseminação da metodologia do DFC, bem como do AHP. No entanto, salienta-se a

lacuna existente em pesquisas de degradação ambiental em bacias hidrográficas através do DFC aportado em Análise Multicritério, a partir de variáveis apenas físicas. É justamente nesse contexto, que a pesquisa em tela está ancorada, buscando definir o nível de degradação ambiental da Sub-bacia do Açude Pau dos Ferros a partir do DFC, utilizando variáveis físicas na análise multicritério.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização geográfica e aspectos fisiográficos da área de estudo

O recorte espacial de estudo refere-se à Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros, que apresenta uma área de aproximadamente 1228,013 km², localizada sob as Coordenadas Geográficas 6°08'43" de latitude sul e 38°11'25" de longitude oeste (exutório) (Figura 1). A sub-bacia estudada, tem altitude em torno de 205 m, e está inserida no Alto Curso e Médio Curso Superior da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró. O Rio Apodi-Mossoró, no trecho que corta a área de estudo, tem regime intermitente, em que nos períodos de precipitação, há um fluxo de corrente de água considerável, que cessa durante a estiagem.

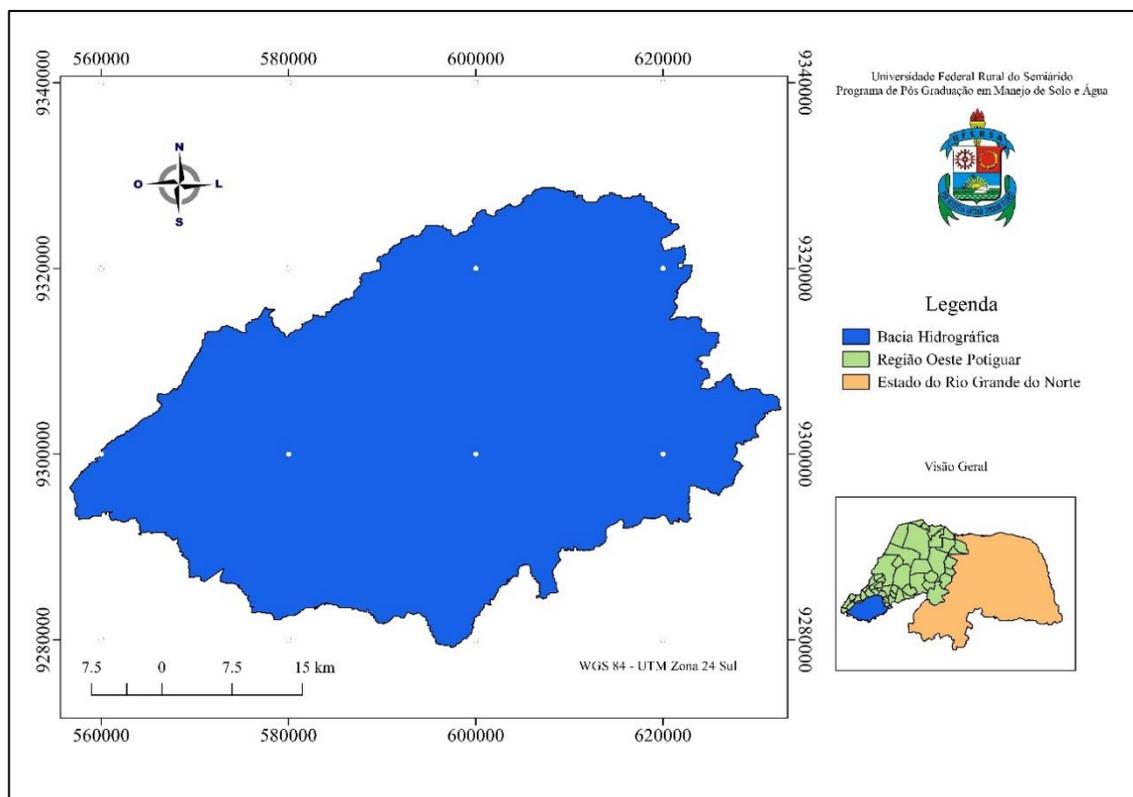


Figura 1: Localização da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.
Fonte: Arquivo da autora (2017).

Essa área fica localizada na Mesorregião Oeste Potiguar, mais precisamente nas Microrregiões de São Miguel e Pau dos Ferros. Além de Pau dos Ferros, mais 19 municípios fazem parte do recorte espacial proposto, que são: Portalegre, Francisco Dantas, Martins, Serrinha dos Pintos, Frutuoso Gomes, Antônio Martins, Rafael Fernandes, Água Nova, Marcelino Vieira, Coronel João Pessoa, Riacho de Santana, João Dias, Pilões, Alexandria, José da Penha, Luís Gomes, Tenente Ananias, Major Sales e Paraná. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a soma da população que reside nos municípios que estão inseridos na área de estudo é de aproximadamente 139.112 habitantes (BRASIL, 2010).

O principal reservatório da área de estudo é o Açude Pau dos Ferros, com uma capacidade de armazenamento de 54,8 milhões de m³ de água (SEMARH, 2017). Foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no ano de 1967, e inaugurado em 1968 com a principal finalidade de servir para abastecimento humano.

4.1.1 Clima, litologia e relevo

A área de estudo está inserida na região semiárida brasileira, caracterizada por apresentar altas temperaturas, baixas precipitações e elevados índices de evapotranspiração, aliado à baixa capacidade de retenção de água dos solos. O tipo climático predominante na área é BSw'h' na classificação de Köppen, um clima muito quente e semiárido. Na faixa ao sudoeste, onde é marcante a presença dos maciços residuais, e também a nascente do Rio Apodi-Mossoró, predomina o tipo AW', caracterizado por ser um clima tropical chuvoso com verão seco (SEMARH, 1998).

No contexto geológico, a bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró engloba predominantemente rochas pré-cambrianas em seu alto curso (MAIA & BEZERRA, 2012). Os mesmos autores destacam que este embasamento geológico condiciona a elevada densidade de drenagem na área de estudo, onde predominam os padrões dendrítico e sub-dendrítico resultantes da impermeabilidade das rochas cristalinas.

Mais especificamente, a sub-bacia em estudo, encontra-se inserida em três Domínios geológicos: Domínio Jaguaribeano (Era Paleoproterozoica), Domínio Rio Piranhas-Seridó (Paleoproterozoico/Riaciano) e o Domínio Granitoides Brasileiro (Denominado também de Plutonismo Brasileiro, do período Ediacarano). Tais domínios tratam-se de unidades Pré-cambrianas (3,45 bilhões de anos até 542 milhões de anos), constituindo as estruturas geológicas mais antigas. Em algumas faixas da área, são encontradas também Coberturas Cenozoicas, como é o caso dos municípios de Martins e Serrinha dos Pintos (MEDEIROS, NASCIMENTO

& SOUSA, 2010; ANGELIM et al., 2006). No município de Portalegre também há presença da Cobertura Cenozoica, no entanto, na área que faz parte da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros, a mesma não aparece.

De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (ANGELIM, MEDEIROS & NESI, 2006), a litologia da área é composta principalmente pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico, Suítes de Augen Gnaisses, Suíte de Granitoide Porfirítico. Numa extensão menor, há presença da Formação Pendências, Formação Jucurutu, Formação Serra do Martins, Biotita Granitos Equigranulados e Grupo Serra de São José.

Geomorfologicamente, a Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros encontra-se inserida na Depressão Sertaneja, com presença também dos Maciços residuais. Sobre a Depressão Sertaneja na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, Maia & Bezerra (2012) apontam que esse relevo se estende até a base dos limites escarpados dos Depósitos Mesozoicos e situa-se entre os blocos soerguidos (Maciços residuais), sendo modelada no interior dos quais a rede de drenagem dos principais rios se instala. Dantas, Armesto & Adamy (2008) e Dantas & Ferreira (2010) colocam que a Depressão Sertaneja se caracteriza por extensas superfícies planas, mas que apresenta também uma grande quantidade de relevos residuais, tais como *inselbergs* ou alinhamentos serranos isolados, muitas vezes, exibindo forte controle litoestrutural do substrato ígneo-metamórfico pré-cambriano.

4.1.2 Solos e vegetação

De acordo com o Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte (BRASIL, 1971) as classes de solos que predominam na área de estudo são as seguintes: Latossolo Vermelho Amarelo (antigo Latosol), Argissolo Vermelho Amarelo (antigo Podzólico), Luvisolo (antigo Bruno não cálcico) e Neossolo Litólico (antigo Solos litólicos). Em associação com esses tipos de solos, existem outras classes como o Cambissolo, Planossolo e Neossolo Regolítico. A atualização na nomenclatura dos solos segue o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2013).

No Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte (BRASIL, 1971) os solos que fazem parte da área de estudo foram descritos e classificados como expostos resumidamente abaixo:

Solos com horizonte B latossólico (não hidromórficos):

LVd1 – LATOSOL VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO textura argilosa fase floresta subcaducifólia relevo plano.

LVd3 – LATOSOL VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO textura média fase floresta subcaducifólia relevo plano

Solos com horizonte B textural e argila de atividade baixa (não hidromórficos):

PE1 – Associação de: PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO orto fase floresta caducifólia relevo ondulado e forte ondulado/SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS/LATOSOL VERMELHO AMARELO/CAMBISOL EUTRÓFICO.

PE2 – Associação de: PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO textura média fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado/ PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO textura média cascalhenta fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado.

PE3 – Associação de: PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO textura média fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado/BRUNO NÃO CÁLCICO/SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS.

PE5 – Associação de: PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO raso textura média cascalhenta fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado / REGOSOL EUTRÓFICO / BRUNO NÃO CÁLCICO/SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS.

NC1 – Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado/ SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS.

NC2 – Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado /PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO / SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS.

NC4 – Associação de: BRUNO NÃO CÁLCICO fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado / PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO / SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS.

Re15 – Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso / PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EQUIVALENTE EUTRÓFICO / AFLOREMENTOS DE ROCHA.

Re16 – Associação complexa de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato gnaisse e granito / AFLOREMENTOS DE ROCHA.

Re4 – Associação de: SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado e forte ondulado substrato micaxisto / BRUNO NÃO CÁLCICO.

A vegetação predominante é do tipo Savana-Estépica arborizada e Gramíneo-Lenhosa (caatinga), vegetação típica das áreas que estão inseridas na Depressão Sertaneja (CESTARO et al., 2007). Nos maciços residuais com cobertura sedimentar (formando chapadas), como é o caso do município de Martins, há ocorrência da Savana-Estépica Florestada e Floresta Estacional Semidecidual (MEDEIROS, 2016; GUEDES, 2016).

De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (BRASIL, 2012), o conceito de Savana-Estépica é empregado para denominar tipologias vegetais campestres, em geral, com estrato lenhoso decidual e espinhoso. A Caatinga da região semiárida brasileira, é a área mais representativa dessa formação vegetal no país.

A Savana-Estépica arborizada é um subgrupo constituído em dois nítidos estratos: um, arbustivo-arbóreo superior, esparsos, geralmente de características idênticas ao da Savana-Estépica Florestada, e outro, inferior gramíneo-lenhoso. Nessa formação destacam-se espécies como o xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & Rowley), pau-branco (*Auxemma oncocalyx* (Allemão) Baill), pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Mart), mofumbo (*Combretum leprosum* Mart), mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), facheiro (*Cephalocereus* sp.) (BRASIL, 2012).

A Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa é um subgrupo que é conhecido como campo espinhoso, que se caracteriza por apresentar um tapete graminoso de plantas lenhosas e anãs espinhosas. Uma espécie vegetal típica dessa formação é o capim-panasco (*Aristida* sp.), que é entremeado com nanofanerófitos (plantas anãs raquíticas, variando entre 0,25 e 5,00 m de altura) espinhosos, que perdem a folhagem na seca e ficam cheios de folhas nas épocas chuvosas, pertencente ao gênero *Jatropha* (pinhão-brabo) (BRASIL, 2012).

A Savana-Estépica Florestada é estruturada em dois estratos: superior, com presença principalmente de nanofanerófitos periodicamente decíduas e mais ou menos adensadas por grossos troncos em geral, profusamente esgalhados e espinhosos ou aculeados; e um estrato inferior gramíneo-lenhoso, geralmente descontínuo (BRASIL, 2012). Uma espécie que caracteriza esse tipo de vegetação é a imburana-de-cambão (*Bursera leptophloeos*). Medeiros (2016) destaca que essa formação é encontrada com frequência em áreas semiáridas, mas que é possível encontrar em locais de elevadas altitudes, como as encostas da Serra de Martins, em que foram identificadas pelos menos 33 espécies vegetais típicas da Savana-Estépica Florestada, nos pontos de coleta da pesquisa.

A Floresta Estacional Semidecidual é estruturada em função da ocorrência de clima estacional que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal. Na zona tropical, associa-se à região marcada por acentuada seca hiberna e por intensas chuvas de verão (BRASIL, 2012). Medeiros (2016) também identificou fragmentos desse tipo de formação

vegetal na Serra de Martins, na parte plana do topo (Chapada) e em algumas áreas da encosta. A autora destaca que as particularidades da Serra de Martins, como umidade, menores temperaturas, altitude elevada e solos pedogeneticamente desenvolvidos, condicionam a ocorrência desse tipo de vegetação na área.

4.2 Aquisição dos dados e softwares utilizados

A delimitação da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros foi realizada de forma automática, com o uso da ferramenta TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*), no software livre e gratuito QGIS versão 2.14. O TauDEM refere-se a um conjunto de ferramentas para análise do terreno usando modelos de elevação digital (TARBOTON, 2015). Definiu-se como exutório a parede do Açude Pau dos Ferros.

Tendo como base que o objetivo nessa pesquisa é determinar o potencial de degradação ambiental da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros, os fatores selecionados para essa análise foram os seguintes: declividade do relevo, classes de solos, cobertura vegetal do solo e erosividade. A partir de dados quantitativos (declividade e erosividade) e qualitativos (classes de solos e cobertura vegetal do solo), foram gerados mapas temáticos do DFC, com base numa classificação qualitativa para todos os fatores.

As informações sobre a declividade foram extraídas de uma imagem dos modelos de elevação (GDEM) disponibilizada no site *Earth Explorer*, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2017), com resolução espacial de 30 m. Os dados foram são ortorretificados e, em seguida, feito o recorte da imagem para a área de estudo.

O cálculo da declividade, expresso em porcentagem, foi realizado no QGIS 2.14, utilizando o módulo de altimetria, o MDE (Modelo Digital de Elevação), por meio dos comandos: Raster > Análise > MDE.

A mapa de solos da área, por sua vez, foi recortado a partir do mapa disponibilizado pelo Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte (BRASIL, 1971), que apresenta uma escala de 1: 500.000.

O mapa de cobertura vegetal do solo foi recortado da imagem do Landsat 8, de 02 de abril de 2017. As bandas utilizadas foram: Banda 3 – verde; Banda 4 – vermelha e Banda 5- infravermelho próxima. Foi atribuído canal de cor vermelha para a Banda 5, o verde para a Banda 4 e azul para a Banda 3. Na sequência foi feita a composição colorida da imagem. Com isso, visualiza-se que as áreas com tons avermelhados correspondem à atividade clorofiliana mais acentuada da cobertura vegetal. Por fim foi realizada a classificação supervisionada por meio do algoritmo máximo verossimilhança, no SPRING 5.5 (INPE, 2017).

Os dados de erosividade foram modelados partindo da atribuição individualmente dos valores para cada centróide dos municípios que compõem a área de estudo, em seguida foi feito a modelagem espacial para a característica usando a técnica de interpolação Inverso da Distância Ponderada (IDW) que está presente no módulo de interpolação do programa QGIS 2.14. No QGIS foi criado um arquivo *shapefile* com o centróide de cada município, a partir disso foi adicionada uma coluna para acrescentar as médias de erosividade.

4.3 Elaboração dos mapas temáticos para os fatores analisados

4.3.1 Declividade

A partir dos dados da declividade da área, foi elaborado o mapa com diferentes classes, associadas ao potencial que cada uma pode contribuir para a degradação da sub-bacia estudada. Para essa classificação no estudo, utilizou-se a proposta feita por Ross (1994), em que utiliza a declividade do relevo como um dos elementos para a avaliação da fragilidade ambiental. Partindo desse pressuposto, entende-se que quanto maior a declividade, maior o potencial de degradação do ambiente (Tabela 1).

Tabela 1: Relação entre as classes de fragilidade e a declividade.

Classes de Fragilidade	Declividade (%)
Muito fraca	0 a 6 %
Fraca	6 a 12 %
Moderada	12 a 20 %
Forte	20 a 30 %
Muito forte	> 30 %

Fonte: Adaptada pela autora (ROSS,1994).

4.3.2 Classes de solos

Para a reclassificação do mapa de solos também foi utilizada a proposta de classes de fragilidade de Ross (1994) (Tabela 2). O mesmo leva em consideração para essa divisão da variável solos, as características como textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão da partículas e profundidade dos horizontes, entre outros atributos.

Tabela 2: Relação entre as classes de fragilidade e os solos.

Classes de Fragilidade	Tipos de solos
Muito fraca	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho Amarelo textura argilosa
Fraca	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo textura média/argilosa
Moderada	Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho Amarelo, textura média/argilosa
Forte	Podzólico Vermelho Amarelo, textura média/arenosa, Cambissolos
Muito forte	Podzolizados com cascalho, Litólico e Areias Quartzozas

Fonte: Adaptada pela autora (ROSS, 1994)

4.3.3 Cobertura vegetal do solo

O mapa de cobertura vegetal do solo foi elaborado também considerando cinco classes (Tabela 3), que se caracterizam por oferecer diferentes potenciais riscos à degradação. Leva-se em consideração que quanto maior a densidade da vegetação, maior é a proteção do solo, o que impede por exemplo, o desencadeamento de processos erosivos intensos, portanto, a potencial à degradação será muito baixo ou baixo, o que é oposta a uma situação em que o solo está exposto, o potencial desse ambiente ser degradado é muito forte.

Tabela 3: Relação entre as classes de fragilidade e a cobertura vegetal do solo.

Classes de Fragilidade	Cobertura vegetal do solo
Muito fraca	Densa
Fraca	Semidensa
Moderada	Rala
Forte	*
Muito forte	Solo exposto e corpos hídricos

*Classe não atribuída a nenhum grau de fragilidade.

Fonte: elaborada pela autora (2017).

4.3.4 Erosividade

A erosividade refere-se à capacidade potencial das chuvas em provocar erosão do solo. O conhecimento sobre o potencial erosivo das chuvas de uma área é fundamental para os diagnósticos ambientais e permite um planejamento adequado principalmente com relação ao uso e conservação do solo.

Bertoni & Lombardi Neto (2014) apontam que a chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos, e que a intensidade desse fator é o elemento mais importante, considerando que quanto maior a intensidade de chuva, maior pode ser a perda por erosão. Além da intensidade das chuvas, os autores destacam que a duração e frequência das chuvas são outros complementos para serem avaliados nas perdas de solo.

A análise da erosividade nesse trabalho teve como base a pesquisa desenvolvida por Santos (2015), que determinou para os 167 municípios do estado do Rio Grande do Norte os índices de erosividade EI_{30} e EI_{15} a partir de dados pluviométricos diários disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). O recorte temporal utilizado pelo autor foi de 1964 a 2013 (50 anos) para 130 municípios, e de 1964 a 2011 (48 anos) para os outros 37 municípios do estado. Nos anos de 2012 e 2013 não há dados de precipitação disponíveis para esses 37 municípios.

A partir dos índices de erosividade, calculados por Santos (2015), realizou-se uma atualização desses dados por meio do índice EI_{30} , acrescentando os anos de 2014, 2015 e 2016, para os municípios que estão inseridos na Sub-Bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros. Então o recorte temporal utilizado nessa pesquisa ficou entre 1964 e 2016 (53 anos), uma série histórica acima do que é recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que devem ser considerados pelo menos 30 anos.

Constatou-se que não há dados disponíveis de precipitação no ano de 2012 para os municípios de Luis Gomes, Major Sales, Paraná, José da Penha, Riacho de Santana, Marcelino Vieira, Alexandria e João Dias. Vale destacar também que o município de Riacho de Santana, além do ano de 2012, há ausência de dados para os anos de 2013 e 2016, em Antônio Martins faltam os anos de 2013, 2015 e 2016 e por fim, em João Dias faltam dados de precipitação do ano de 2012 até 2016 (EMPARN, 2017).

A sequência metodológica utilizada por Santos (2015) e que é aplicada nessa pesquisa é descrita abaixo.

A partir dos dados de precipitação pluviométrica diária, as mesmas foram desagregadas em chuvas de diferentes durações (24h, 1h, 15 minutos e 30 minutos) de acordo com a metodologia proposta pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 1986), por meio de coeficientes de desagregação apresentados na Tabela 4, com a finalidade de

determinar as chuvas erosivas, uma vez que no estado há baixa disponibilidade de dados de pluviógrafos.

Tabela 4: Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.

Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
24 h para 1 dia	1,14
1 h para 24 h	0,42
30 min para 1 h	0,74
15 min para 30 min	0,70

Fonte: CETESB (1986).

A partir dos coeficientes apresentados na Tabela 1, as precipitações de diferentes durações foram desagregadas, conforme as relações entre as alturas das precipitações (h) para determinadas durações e o respectivo coeficiente, de acordo com o exemplo descrito abaixo. A lâmina de precipitação (mm) é representada pelo h.

$$-h (24 \text{ horas}) = h (1 \text{ dia}) \times 1,14$$

$$-h (1 \text{ hora}) = h (24 \text{ horas}) \times 0,42$$

$$-h (30 \text{ minutos}) = h (1 \text{ hora}) \times 0,74$$

$$-h (15 \text{ minutos}) = h (30 \text{ minutos}) \times 0,70$$

Para estimar a erosividade das chuvas, Santos (2015) utilizou a metodologia proposta por Wischmeier & Smith (1978), adaptada por Cabeda (1976) em que considera as chuvas individuais erosivas como sendo chuvas iguais ou superiores a 10,0 mm de altura e chuvas inferiores a 10,0 mm de altura, quando sua lâmina em 15 minutos for igual ou superior a 6,0 mm. A erosividade é expressa em unidades do Sistema Internacional ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), de acordo com Foster et al. (1981).

Seguindo Wischmeier & Smith (1978) foi considerada a Equação 1 para o cálculo da energia cinética por milímetro de chuva:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (1a)$$

quando $I \leq 76 \text{ mm h}^{-1}$, e

$$E_c = 0,283 \quad (1b)$$

quando $I > 76 \text{ mm h}^{-1}$

Em que:

E_c - energia cinética, $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$

I - intensidade da chuva, mm h^{-1}

As equações 2 e 3 representam a energia cinética do segmento uniforme e a energia cinética total da chuva, respectivamente. A energia cinética total da chuva foi determinada com o somatório das energias cinéticas de cada segmento da chuva. Foster (1981) diz que o diâmetro das gotas de chuva não aumenta quando as intensidades são iguais ou superiores a 76 mm h^{-1} , sendo assim, para essas condições de intensidade de precipitação a energia cinética passa a ter valor máximo de $0,283 \text{ MJ ha}^{-1}$.

$$E_{cs} = E_c \cdot h \quad (2)$$

$$E_{ct} = \sum_{i=1}^n E_{cs} \quad (3)$$

Em que:

E_{cs} = energia cinética do segmento, MJ ha^{-1}

h = a altura pluviométrica do segmento, mm

E_{ct} = a energia cinética total da chuva, MJ ha^{-1}

Santos (2015) calculou Índices de Erosividade (EI) de cada chuva para as durações de 15 e 30 minutos. No entanto, nessa pesquisa utilizou-se apenas o índice de erosividade para duração de 30 minutos de chuva, representado pela equação 4. O EI_{30} é índice mais adequado à realidade intertropical, como é destacado por Bertoni & Lombardi Neto (2014), também é o índice mais utilizado nas pesquisas como as realizadas por Matos et al. (2017), Santos & Montenegro (2012), Cassol et al. (2008), entre outras.

$$EI_{30} = E_{ct} \cdot I_{30} \quad (4)$$

Em que:

EI_{30} = índice de erosividade de chuva na duração de 30 minutos, $\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$;

E_{ct} = é a energia cinética total da chuva, MJ ha^{-1} ;

I_{30} = intensidade máxima de chuva na duração de 30 minutos, mm h^{-1} .

Somando-se os índices EI_{30} de todas as chuvas individuais e erosivas de cada mês, obteve-se a erosividade mensal das chuvas e, somando-se os índices EI_{30} mensais, obteve-se então a erosividade anual das chuvas.

A partir da soma dos valores das médias mensais de toda a série histórica desses índices de erosividade das chuvas nos períodos estudados, obteve-se o valor do Fator “R”, um dos parâmetros utilizados na Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) - *Universal Soil Loss Equation* – USLE). Pode-se resumidamente dizer que o fator R requer o cálculo do índice de erosividade das chuvas, e que nesse caso utilizou-se o EI_{30} , que foi obtido pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas, como expostos anteriormente: energia cinética total da chuva (E_c) e intensidade máxima em 30 min (I_{30}).

A classificação mais utilizada na literatura para os índices de erosividade é a proposta por Carvalho (2008), conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Classes para interpretação do índice de erosividade anual.

Erosividade ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Classes de erosividade
$R \leq 2452$	Erosividade fraca
$2452 < R \leq 4905$	Erosividade moderada
$4905 < R \leq 7357$	Erosividade moderada a forte
$7357 < R \leq 9810$	Erosividade forte
$R > 9810$	Erosividade muito forte

Fonte: Carvalho (2008)

Para aplicar nessa pesquisa fez-se uma adaptação a partir das classes de erosividade propostas por Carvalho (2008), como é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Classes adaptadas para interpretação do índice de erosividade anual.

Erosividade ($\text{MJ mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Classes de erosividade
$R \leq 2452$	Muito fraca
$2452 < R \leq 4905$	Fraca
$4905 < R \leq 7357$	Moderada
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito forte

Fonte: Adaptada pela autora (CARVALHO, 2008)

4.4 Normalização e ponderação dos fatores

A partir da obtenção dos planos de informações sobre os fatores anteriormente expostos, os mesmos foram colocados em uma mesma escala de referência por meio da normalização dos critérios no complemento AHP presente no QGIS 2.14. A normalização dos critérios é necessária tendo em vista que os fatores avaliados para a aplicação do DFC estão em unidades diferentes, dois representados por dados qualitativos, como é o caso das classes de solo e cobertura vegetal do solo, e os outros dois por dados quantitativos, que são a declividade e erosividade.

Para a normalização do mapa de declividade foi utilizado a função *fuzzy* sigmoidal crescente, enquanto para a erosividade foi utilizado a equação linear. Para os demais critérios (Classes de solos e cobertura vegetal do solo) a normalização foi direta (método participativo), com a introdução dos valores de acordo com o conhecimento técnico de pesquisadores da área.

A normalização dos dados nos mapas foi realizada em uma escala de valores de 0 a 1, por meio da aplicação de modelos matemáticos e técnica participativa, para os dados quantitativos e qualitativos, respectivamente. Admitiu-se que os valores que estão mais próximos a zero representam que o fator apresenta um menor potencial à degradação ambiental na área de estudo, enquanto que os valores que se aproximam de 1, indicam que o fator apresentara maior potencial à degradação natural.

Foram atribuídos pesos para cada classe dos fatores utilizados na pesquisa. Como mostrado anteriormente, definiu-se fazer adequações e padronizar as classes de todos os fatores em cinco categorias: Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte e Muito forte. Então os pesos ficaram assim definidos: Muito fraca= 0; Fraca= 0,25; Moderada= 0,50; Forte= 0,75; e Muito Forte= 1.

Após a normalização dos critérios, com a finalidade de definir o grau de importância de cada um quanto ao potencial de degradação ambiental, procedeu-se com a aplicação do processo analítico hierárquico (Saaty, 1977) para a ponderação dos respectivos critérios, em que se atribuiu pesos relativos de importância de cada fator, considerando que os mesmos podem ter diferentes graus de influência na degradação natural da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.

Nesse processo os pesos foram obtidos a partir da construção de uma matriz de comparação pareada (Tabela 7).

Tabela 7: Hierarquização da matriz de comparação pareada.

Fatores	Declividade	Classes de Solos	Cobertura vegetal	Erosividade
Declividade	1			
Classes de Solos		1		
Cobertura vegetal			1	
Erosividade				1

Fonte: Arquivo da autora (2017).

Para julgar os valores que definem a comparação dos fatores, adaptou-se as regras sugeridas na metodologia de Saaty (1977), de acordo com a Tabela 8. Quando montada a matriz de comparação, a comparação foi feita par a par escolhendo entre os valores que variam de 1 a 9, ou seja, de igual importância a importância extrema, respectivamente.

Tabela 8: Valores da intensidade de importância dos fatores.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objeto
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2-4-6-8	Valores intermediários entre julgamentos	Indecisão entre os fatores

Fonte: Adaptada pela autora (SAATY, 1977)

Após a construção da matriz de comparação pareada, os valores das colunas e linhas foram normalizados e feito o somatório dos valores de cada coluna e, a seguir, o valor de cada célula foi dividido pelo resultado do somatório de sua respectiva coluna. A partir da média dos valores de cada linha normalizada foi atribuído o peso de cada componente em relação ao potencial natural de degradação ambiental. Quando se cumpriu essa etapa, determina-se a razão de consistência (*Consistency Ratio* – CR), a qual indica a probabilidade dos valores da matriz terem sido gerados ao acaso. Quanto mais próximo os resultados forem de zero, maior será a coerência dos pesos. De acordo com Saaty (1977), a razão de consistência deve ser menor do que 0,1 (10 %).

4.5 Combinação linear ponderada

A Combinação Linear Ponderada (CLP) foi realizada após a normalização e obtenção dos pesos finais dos fatores avaliados. Tal procedimento consiste em multiplicar o peso relativo de cada fator pelos valores das classes resultantes do procedimento anterior, a normalização.

O mapa final do DFC, foi elaborado, portanto, por meio da Combinação Linear Ponderada (CLP), em que o mesmo foi convertido do formato matricial para o vetorial com o objetivo de identificar as áreas quanto às classes de potencial à degradação natural. Para isso foi realizada uma reclassificação da imagem em cinco classes: Muito Fraca, Fraca, Moderada, Forte, Muito Forte. Tal proposta indica que as áreas em que predominam a classe “Muito fraca”, apresenta um potencial natural muito baixo para ser degradada, enquanto que as áreas que predominam a classe “Muito forte”, o risco de degradação é muito alto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar individualmente cada fator que pode contribuir com o potencial de degradação natural da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros, foram produzidos mapas com as classes e porcentagens, aplicado o modelo definido na metodologia que quantificam a distribuição de cada uma na área de estudo, para ao final ter um mapa representando o DFC a partir da junção de todos os fatores, que são apresentados na sequência.

5.1 Declividade

Ao avaliar o fator declividade individualmente e seu potencial em provocar a degradação natural da área de estudo, observou-se que as classes de declividade predominantes foram a Fraca, correspondendo a uma área de 732,40 km² (34,60 %) e Muito Fraca, com uma área em torno de 625,72 km² (29,56 %) (Tabela 9).

Essas classes de declividade são as que caracterizam predominantemente a Depressão Sertaneja, que apresenta extensas superfícies planas. Na área de estudo essas duas classes juntas, correspondem em torno de 64,15 %, como pode ser visualizado na Figura 2 a espacialização dessa característica. Portanto, o potencial à degradação nessas áreas a partir do fator declividade, é menor do que nas outras áreas mapeadas em que a declividade aumenta.

Tabela 9: Classes de potencial à degradação natural quanto à declividade.

Classes	Área (km²)	Área (%)
Muito fraca	625,72	29,56
Fraca	732,40	34,60
Moderada	404,33	19,10
Forte	163,53	7,73
Muito Forte	190,70	9,01
Total	2.116,68	100,00

Fonte: Arquivo da autora (2017).

No que se refere às áreas que apresentam maior declividade, destaca-se que as classes Muito forte e Forte correspondem a uma área de 190,70 km² (9,01 %) e 163,53 km² (7,73 %), respectivamente (Tabela 9). A classe Muito Forte se caracteriza por apresentar uma declividade acima de 30 %, o que contribui de forma marcante para um maior potencial à degradação, considerando que essas áreas estão mais propensas ao desenvolvimento de processos erosivos,

movimentos de massa, presença de solos rasos com baixo grau de desenvolvimento pedogenético, entre outros.

Como pode ser visualizado na Figura 2, o potencial à degradação natural quanto às classes de declividade, a classe Muito Forte destaca-se principalmente nas extremidades da área e de forma menos concentrada da parte central ao sul da área de estudo. Tal condição está relacionada à presença dos Maciços residuais em meio a Depressão Sertaneja, como é o exemplo principalmente da Formação Serra dos Martins e as Serras de São José (presente nos municípios de Luis Gomes, São Miguel, Coronel João Pessoa e outros).

Devido a essa condição, essas áreas devem ser preservadas, como é previsto no Código Florestal (Art. 2º) (BRASIL, 2012) que estabelece proteção permanente para as bordas de tableiros ou chapadas, os topos de morro, montes, montanhas e serras e para as encostas com alta declividade.

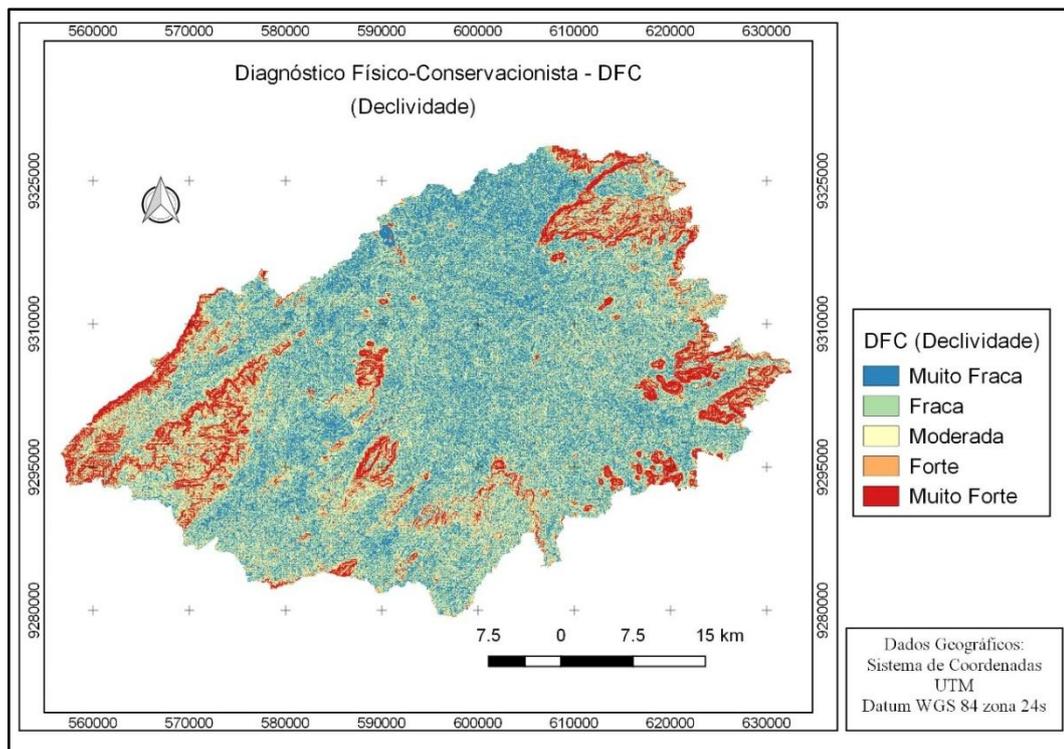


Figura 2: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de declividade. Fonte: Arquivo da autora (2017).

5.2 Classes de solos

Primeiramente vale destacar a distribuição dos principais tipos de solos da área para compreender melhor a espacialização dessas classes mostradas na Figura 3. A partir das classes

de solos encontradas, as mesmas foram reclassificadas e adaptadas a partir da proposta de Ross (1994) para indicar o potencial que cada uma pode oferecer à degradação natural (Tabela 10).

Tabela 10: Adaptação da relação entre as classes de fragilidade e os solos da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.

Classes de Fragilidade	Tipos de solos
Muito fraca	*
Fraca	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa(LVd1) e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média (LVd3)
Moderada	Argissolos Vermelho Amarelo eutrófico (textura média e argilosa) (PE1,PE2, PE3 e PE5)
Forte	*
Muito forte	Luvissolos fase pedregosa (NC1, NC2 e NC4) e Neossolos Litólicos (Re15, Re16 e Re4)

* não há solos que se enquadraram nessa classe de fragilidade.

Fonte: Adaptada pela autora (ROSS, 1994).

De acordo com as classes estabelecidas para classificar o potencial à degradação natural da área em virtude dos tipos de solos, observou-se que houve forte predomínio das classes Moderada e Muito Forte, com uma área em torno de 1221,58 km² (57,76 %) e 885,42km²(41,87 %) respectivamente (Tabela 11).

A classe Moderada é representada pelos Argissolos Vermelho Amarelo de textura média e argilosa. Essa classe de solo é muito presente no semiárido brasileiro, e a mesma se caracteriza por apresentar um horizonte B textural, que indica forte acúmulo de argila no horizonte B (EMBRAPA, 2013), no entanto, essa característica favorece o desenvolvimento de processos erosivos mais intensos, principalmente quando há retirada da vegetação nativa que o protege da desagregação de suas partículas por meio da ação da precipitação.

Tabela 11: Classes de potencial à degradação natural quanto às classes de solos.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Muito fraca	0,00	0,00
Fraca	7,77	0,37
Moderada	1221,58	57,76
Forte	0,00	0,00
Muito Forte	885,42	41,87
Total	2114,77	100,00

Fonte: Arquivo da autora (2017).

A classe Muito Forte é constituída por solos mais jovens ou pouco evoluídos pedogeneticamente, como são os Luvisolos de fase pedregosa e os Neossolos Litólicos. As características principalmente físicas e morfológicas oferecem forte impedimento aos diversos usos, principalmente ao agrícola. Quando são utilizados sem considerar suas condições naturais são facilmente degradados.

Outra classe presente foi a Fraca, representada por uma pequena área, em torno de 7,77 km² (0,37 %), sendo composta por Latossolo Vermelho Amarelo, presente nos municípios de Portalegre e Martins (Figura 3). Os Latossolos são os mais evoluídos pedogeneticamente, apresentam o horizonte B latossólico (EMBRAPA, 2013). Como são solos profundos e bem estruturados fisicamente, apresentam um baixo potencial de degradação quando comparado com outras classes como os Luvisolos e Neossolos Litólicos presentes na área de estudo.

Na Figura 3, observa-se o mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de solos existentes na bacia hidrográfica após a aplicação dos procedimentos de avaliação e modelagem.

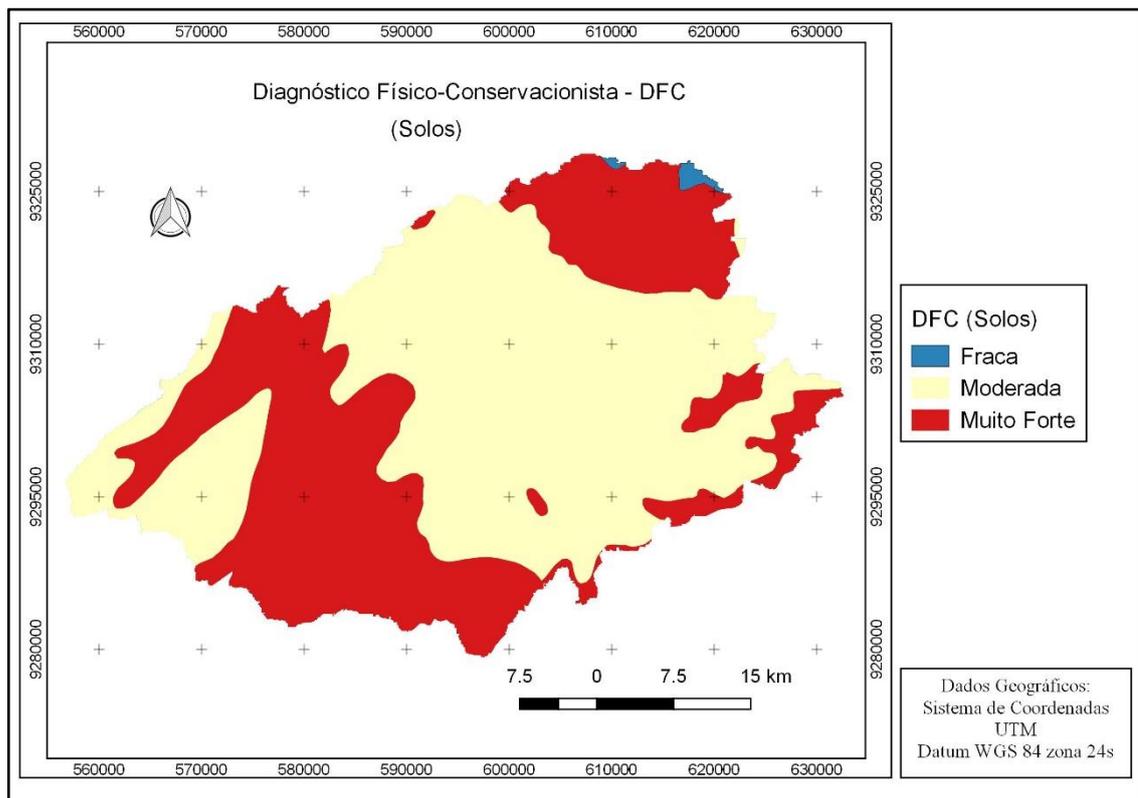


Figura 3: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de solos.
Fonte: Arquivo da autora (2017).

5.3 Cobertura vegetal do solo

A distribuição de classes da cobertura vegetal do solo está representada na Figura 4 e suas áreas na Tabela 12. Constatou-se que a classe predominante é a Muito Fraca com uma área de 903,25 km² (37,71 %), tal classe é caracterizada pela presença de uma vegetação densa, que teoricamente oferece maior proteção ao solo, portanto, oferece baixo potencial à degradação natural na área que está presente.

A segunda classe predominante é a Fraca, sua área fica em torno de 767,53 km² (32,04 %), caracterizada por apresentar uma vegetação semidensa. Já a terceira classe predominante é a Muito Forte, com uma área de 713,47 km² (29,79 %), o potencial muito alto à degradação é explicado pelo fato dessa classe representar as áreas com solo exposto e corpos hídricos. Os corpos hídricos foram enquadrados nessa classe tendo como base as condições climáticas da região, em que as precipitações são má distribuídas no tempo e no espaço, o que traz como consequência a exposição do solo nesses reservatórios nos períodos de estiagem, deixando tais áreas expostas aos processos de degradação ambiental de forma mais intensa.

Na Tabela 12 estão representadas as classes de potencial de degradação natural da cobertura vegetal da área de estudo, e na Figura 4 a distribuição espacial da cobertura vegetal na área avaliada após a aplicação do método de avaliação de AHP.

Tabela 12: Classes de potencial à degradação natural quanto à cobertura vegetal do solo.

Classes	Área (km²)	Área (%)
Muito fraca	903,25	37,71
Fraca	767,53	32,04
Moderada	0,00	0,00
Forte	10,98	0,46
Muito Forte	713,47	29,79
Total	2.395,22	100,00

Fonte: Arquivo da autora (2017).

Observando a Figura 4, verifica-se que a cobertura vegetal está apresentando uma maior influência a degradação da bacia nas áreas centrais das mesmas. Estes espaços são os locais em que se verificou uma menor cobertura do solo por meio da classificação supervisionada das imagens de satélite. Este comportamento deve influenciar de modo decisivo as obtenções dos modelos neste setor da bacia, se unido as outras avaliações realizadas.

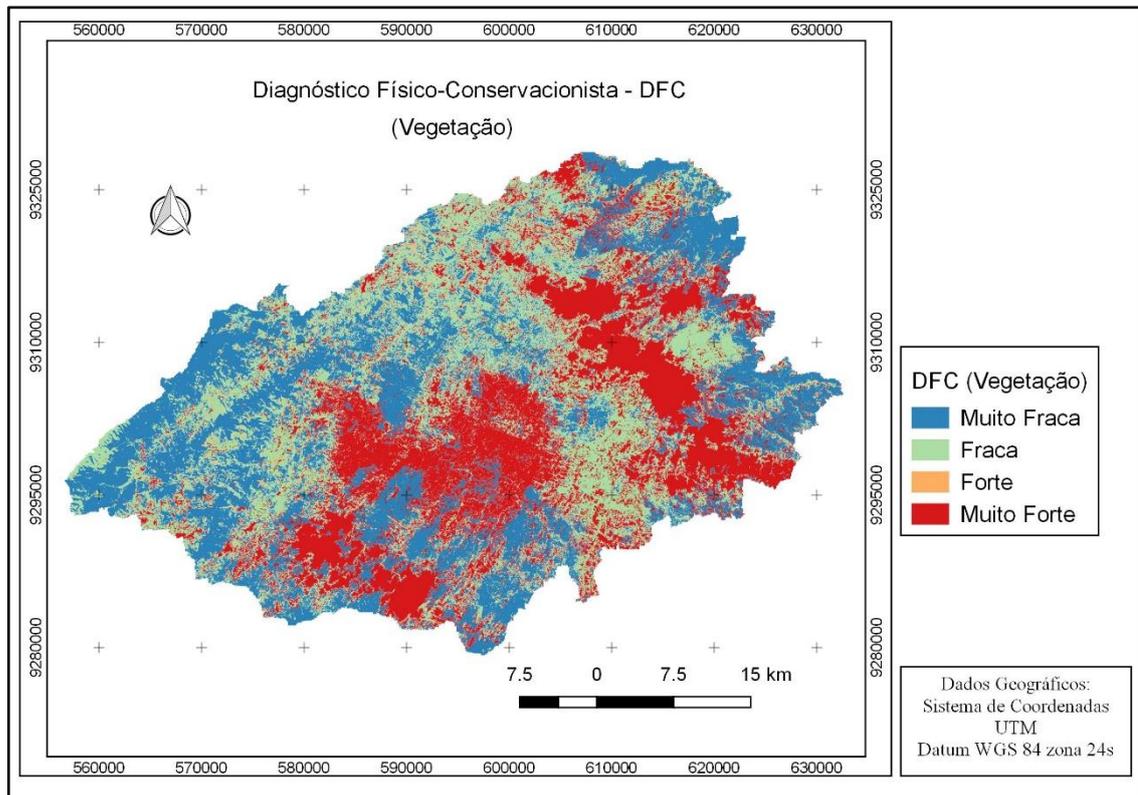


Figura 4: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de cobertura vegetal do solo.

Fonte: Arquivo da autora (2017).

5.4 Erosividade

No que diz respeito a influência da erosividade no potencial à degradação natural da área de estudo, verifica-se que a classe fortemente predominante na área é a Fraca (Figura 5), se estendendo por uma área em torno de 2.074,24 km² (97,47 %) (Tabela 13). Essa classe é representada por um intervalo de erosividade que varia entre 2452 e 4905 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹. Vale destacar que na classificação proposta por Carvalho (2008) essa classe de erosividade refere-se à moderada (Ver Tabela 5).

A classe de erosividade Muito Fraca, está presente numa pequena área, em torno de 16,37 km² (0,77 %), correspondendo às áreas em que estão presentes os municípios de Francisco Dantas, Pilões e Pau dos Ferros (Figuras 5 e 6).

Tabela 13: Classes de potencial à degradação natural quanto à erosividade.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Muito fraca	16,37	0,77
Fraca	2.074,24	97,47
Moderada	37,57	1,77
Forte	0,00	0,00
Muito Forte	0,00	0,00
Total	2.128,18	100,00

Fonte: Arquivo da autora (2017).

A classe Moderada está representada numa área em torno de 37,57 km² (1,77 %), sendo caracterizada por apresentar uma erosividade variando entre 4905 e 7357 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹. No mapa a área que está destacando essa classe refere-se aos municípios de Martins e Portalegre (Figuras 5 e 6), que apresentam índices pluviométricos superiores aos dos demais municípios que estão inseridos na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros, tais condições influenciam diretamente nas médias de erosividade.

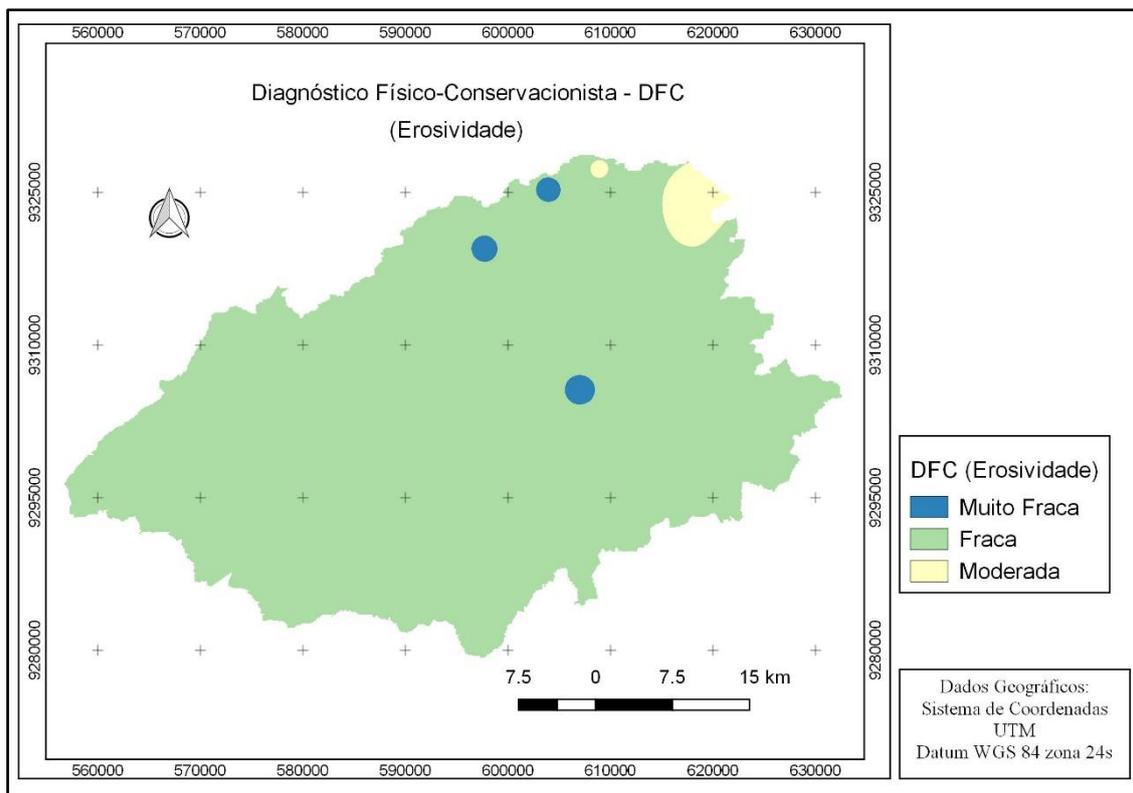


Figura 5: Mapa de potencial à degradação natural quanto às classes de erosividade.

Fonte: Arquivo da autora (2017).

É possível verificar nas Figuras 6 e 7, respectivamente os gráficos de médias de erosividade por município da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros e a distribuição da erosividade média mensal para os municípios da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.

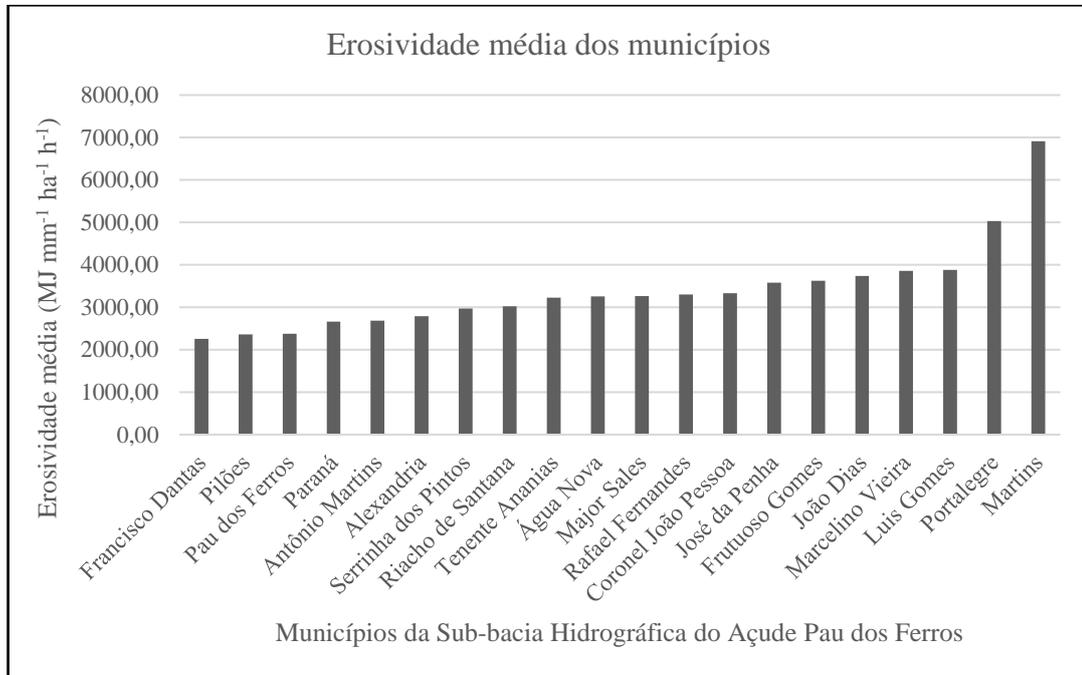


Figura 6: Gráfico de médias de Erosividade por município da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.

Fonte: Arquivo da autora (2017).

É importante destacar que as médias de erosividade variam ao longo dos meses, como pode ser constatado na Figura 7. Verifica-se que os meses do ano que concentram as maiores médias de erosividade são de janeiro até maio. O mês de março destaca-se nesse contexto, por apresentar uma média de erosividade para os municípios superior a 1.000 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹. Tal comportamento pode ser associado aos meses do ano mais chuvosos, e conseqüentemente influenciam os índices médios de erosividade.

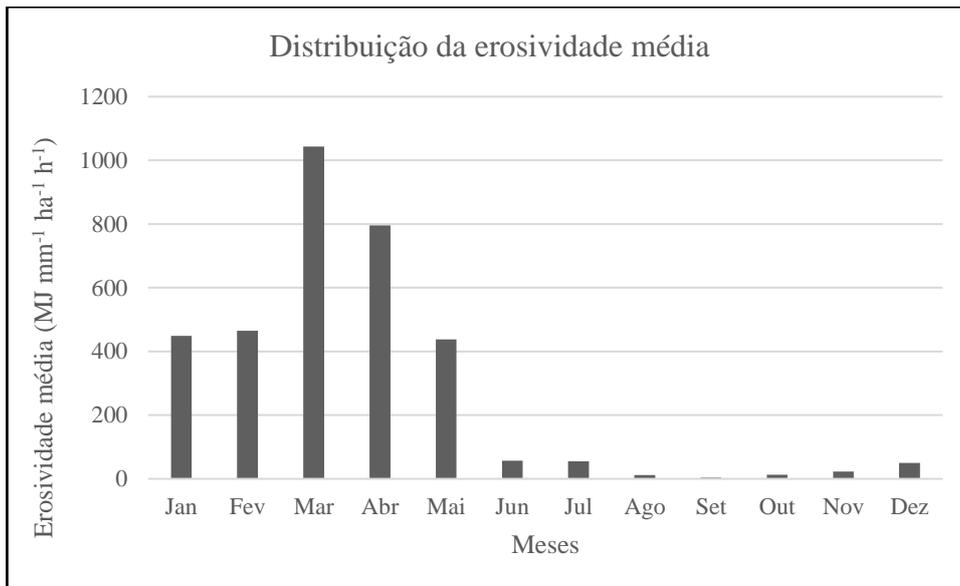


Figura 7: Distribuição da erosividade média mensal para os municípios da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.

Fonte: Arquivo da autora (2017).

5.5 Diagnóstico Físico-Conservacionista

Ao realizar o processo de ponderação, definiu-se a hierarquia de comparação, em que foi considerado a importância de cada fator ao processo de degradação natural ambiental. Desse modo, a sequência de importância foi definida como sendo a declividade o fator mais importante, seguido pelos fatores classe de solos, cobertura vegetal do solo e erosividade.

No cumprimento da sequência metodológica, procedeu-se a comparação pareada dos fatores e obteve-se como resultados as relações abaixo. A tabela de valores da intensidade de importância dos fatores foi apresentada na metodologia (Tabela 8).

- A declividade é moderadamente mais importante quando comparada com o fator classes de solos;
- A declividade tem importância essencial quando comparada com o fator cobertura vegetal do solo;
- A declividade tem importância demonstrada quando comparada como fator erosividade;
- Classes de solos tem importância essencial quando comparado com o fator cobertura vegetal do solo;
- Classes de solos tem importância demonstrada quando comparado com o fator erosividade;

- O fator cobertura vegetal do solo tem importância moderada quando comparado com a erosividade.

Com a definição dessas informações, ao aplicar as equações do AHP (Saaty, 1977), foram calculados os pesos relativos de cada fator (Tabela 14). Com isso, observa-se que o fator declividade contribuiu com 52,9 % do potencial à degradação natural da área, enquanto que o fator classes de solos representa 31,5 %, seguido pelo fator Cobertura Vegetal do solo com 10,5 % e Erosividade com 5,1 %.

Tabela 14: Pesos de importância dos fatores do DFC.

Fatores	Declividade	Classes de Solos	Cobertura vegetal	Erosividade	Pesos
Declividade	1	3,0	5,0	7,0	0,529
Classes de Solos	0,333	1	5,0	7,0	0,315
Cobertura vegetal	0,2	0,2	1	3,0	0,105
Erosividade	0,143	0,143	0,333	1	0,051
Razão de Consistência (CR) = 0,087				Soma	1,00

Fonte: Arquivo da autora (2017).

O valor da Razão de Consistência de 0,087 aponta que a proposição e atribuição dos valores (pesos) na matriz de comparação pareada seguiu um procedimento lógico e indicou que os resultados apresentam consistência, estando de acordo com a metodologia proposta por Saaty (1977), em que diz que o valor da CR deve ser menor do que 0,1 (10 %).

O mapa final do Diagnóstico Físico-Conservacionista da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros (Figura 8), tendo como base uma classificação qualitativa, foi produto da aplicação do método de Combinação Linear Pareada (CLP) em que foi possível realizar a integração e combinação dos fatores e classes selecionados nessa pesquisa através dos seus respectivos pesos e valores normalizados.

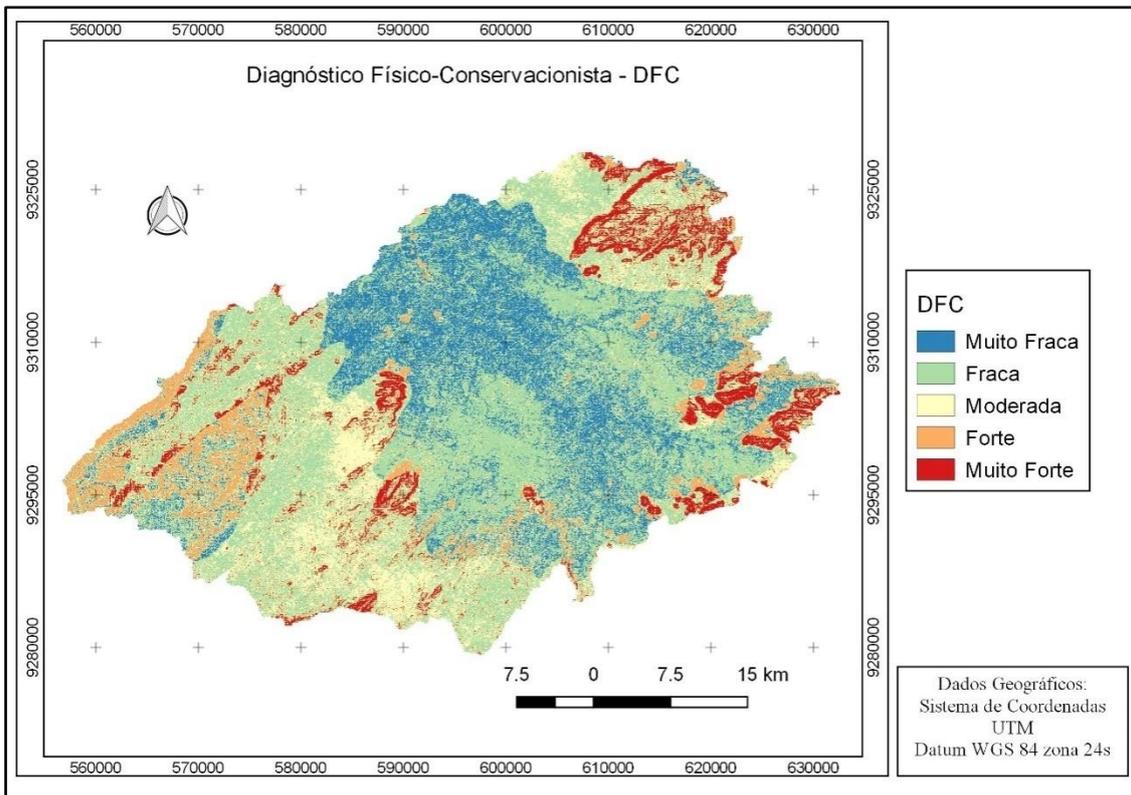


Figura 8: Mapa do Diagnóstico Físico-Conservacionista da Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros.
Fonte: Arquivo da autora (2017).

Como pode ser visualizado na Tabela 15, a classe de potencial à degradação natural que predomina na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros é a Fraca, correspondendo a 43,94 %, seguida da Moderada com 20,02 %, e da classe Muito Fraca, com 18,81 %, as mesmas são as mais representativas espacialmente (Figura 8). As que apresentam uma abrangência menor na área são as classes Forte, correspondendo em torno de 10,66 % e Muito Forte com 6,57 %.

Tabela 15: Quantificação das classes de potencial à degradação natural ambiental do DFC.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Muito fraca	397,31	18,81
Fraca	928,18	43,94
Moderada	422,88	20,02
Forte	225,30	10,66
Muito Forte	138,88	6,57
Total	2.112,56	100,00

Fonte: Arquivo da autora (2017).

Verifica-se nos resultados, uma compensação entre os fatores utilizados no DFC, pois áreas que apresentaram forte potencial à degradação natural, como é o exemplo do fator classe de solos quando analisado individualmente, foram compensadas por fatores com pesos mais baixos. Tal condição é consequência da combinação dos fatores com diferentes pesos que fazem com que os valores finais tendem a representar uma média dessa interação.

É oportuno destacar que levando em consideração os pesos que foram obtidos representam o grau de importância de cada fator ao potencial de degradação ambiental da área, e nessa pesquisa a declividade foi o fator que mais influenciou o resultado final, com peso de 0,529, que corresponde a 52,9 %.

Mesmo ocorrendo uma compensação acentuada, ao analisar o fator declividade separadamente (Figura 2), as classes do tipo Forte e Muito forte poucos se alteraram em termos de espacialização, estando inseridas nas classes Forte e Muito Forte no mapa final do DFC (Figura 8).

6 CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que as classes de potencial à degradação natural do ambiente na Sub-bacia Hidrográfica do Açude Pau dos Ferros variaram predominantemente de Muito Fraca a Moderada;

Os fatores do DFC quando avaliados individualmente podem oferecer mais detalhes para cada característica física ambiental e sua espacialização, o que pode servir de orientação para as mais diversas formas de uso e ocupação da área;

A análise multicritério foi eficiente e constituiu-se em uma importante ferramenta no mapeamento da área de estudo;

O DFC forneceu uma visão geral da condição de degradação natural da área de estudo, no entanto, outros fatores podem ser acrescentados em trabalhos futuros para aprimorar a metodologia aplicada.

7 REFERÊNCIAS

- ANGELIM, L. A. A., MEDEIROS, V. C., NESI, J. R. Programa Geologia do Brasil – PGB. **Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte.** Escala. 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006. 1 mapa color.
- ANGELIM, L. A. A.; NESI, J. R.; TORRES, H. H. F.; MEDEIROS, V. C.; SANTOS, C. A.; VEIGA JUNIOR, J. P.; MENDES, V. A. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte.** Escala 1:500.000. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM, 2006.
- BARACUHY, J. G. V.; KURTZ, S. M. J. M., KURTZ, F. C.; DUARTE, S. M. A.; LIMA, V. L. A.; ROCHA, J. S. M.; DANTAS NETO, J. Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.159-164, 2003.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de Bacias Hidrográficas:** modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 112p.
- BERTALANFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas.** Rio de Janeiro, Editora Vozes, 1973, 351p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 6. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 269-300.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo Demográfico (2010).** Disponível: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 de jan. 2017.
- BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro [on line] http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.html
- BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 15 de maio 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Norte.** Recife. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1971 (Boletins DPFS-EPE-MA, 21 - Pedologia, 8).
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** 2. ed. Manuais técnicos em geociências, Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

BRITO, D. S.; LEITE, E. F. Aplicação da metodologia do DFC para avaliar o potencial erosivo natural da bacia hidrográfica do Rio Água Suja, Tocantins (Brasil). **R. Bras.de Geografia Física**, vol. 08, n.03, p. 736-750, 2015.

BRITO, M. M.; WEBER, E. J.; PASSUELLO, A. Avaliação multicritério aplicada ao mapeamento a suscetibilidade a escorregamentos: o caso do Bairro Cascata, Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.03, p. 735-749, 2017.

CABEDA, M. S. V. **Computation of storms EI values**. West Lafayette, Purdue University. 1976. 6p. (não publicado).

CARVALHO, A. G. B. M. **Análise em bacias hidrográficas**: contribuição metodológica para o diagnóstico ambiental. 132f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2013.

CARVALHO, R. G. **Análise de sistemas ambientais aplicada ao planejamento**: estudo em macro e mesoescalas na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró. 269f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2011.

CARVALHO, R. G. Sistemas Ambientais e desmatamento na região da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró/RN. **Revista da ANPEGE**, v. 8, n. 9, p. 107-118, jan./jul. 2012.

CARVALHO, R. G; KELTING, F. M. S. Construção de um índice de estado do meio ambiente para os municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 31-43, 2012.

CARVALHO, S. M. **O diagnóstico físico-conservacionista: DFC como subsídio à gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa-PR**. 169f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1239-1251, 2008.

CESTARO, L. A.; ARAÚJO, P. C. MEDEIROS, C. N.; CISNEIROS, R.; ARAÚJO, L. P. **Proposta de unidades geoambientais para o Rio Grande do Norte**. Anais: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – Natureza, Geotecnologia, Ética e Gestão do Território. Natal, 09 a 13 de julho de 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 190p.

CHUEH, A. M.; SANTOS, L. J. C. Análise do potencial de degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais/PR, por meio do DFC – Diagnóstico Físico Conservacionista. **Revista Ra'e Ga**, n. 10, p. 61-71, 2005.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. A questão da água no semiárido brasileiro. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (orgs). **Águas do Brasil**: análises estratégicas. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Drenagem urbana**: manual de projeto. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G; DUARTE, V. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. INPE. São José dos Campos, São Paulo, 1996.

DANTAS, M. E.; FERREIRA, R. V. Relevô. In: PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2010. p.78-91.

DANTAS, M. E; ARMESTO, R. C. G.; ADAMY, A. Origem das paisagens. In: SILVA, C. R. (Org.) **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264 p.

DIAS, V. S. B.; SILVA, A. B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do Mini Corredor Ecológico Serra Das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, n.66/6, p.1363-1377, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, Brasília, Sistema de Produção de Informação, 2013. 353p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE – EMPARN. **Monitoramento pluviométrico**: acumulado de chuvas no ano. Disponível: <http://187.61.173.26/monitoramento/monitoramento.php>. Acesso em: 29 de maio 2017.

FALCÃO, E. C. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando Avaliação Multicritério Espacial, no Município de Boa Vista-PB**. Tese 126f. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2013.

FERRETI, E. R. Diagnóstico Físico-Conservacionista - DFC: instrumento para o plano de bacias hidrográficas - uma aplicação na Bacia do rio Tagaçaba – município de Guaraqueçaba – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 53, p. 95-97, 2003.

FOSTER, G. R.; MC COOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil Water Conservation**, v.36, p.355-359,1981.

GUEDES, J. C. F. **Comparação de índices de vegetação no mapeamento da cobertura da terra no semiárido**: estudo de caso no Município de Martins/RN. 87f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 190 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) versão 5.5**. São José dos Campos: Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. [on line] Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia e Neotectônica no Vale do Rio Apodi-Mossoró RN – NE/Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 24, p. 209-228, jan./abr, 2012.

MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F.; BORGES, V. E.; GALVÃO SOBRINHO, T. Erosividade da chuva no período de 1973 a 2013 no município de Barbalha – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.3, p. 641-649, 2017.

MEDEIROS, J. F. **Da análise sistêmica à Serra de Martins: contribuição teórico-metodológica aos Brejos de Altitude**. 219f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MEDEIROS, V. C.; NASCIMENTO, M. A. L.; SOUSA, D. C. Geologia. In: PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2010. p. 15-38. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_RN.pdf

MELO, J. A. B. **Diagnóstico Físico-Conservacionista e das vulnerabilidades como subsídio ao ordenamento territorial da Microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista, PB**. 243f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

MENDONÇA, I. F. C. **Adequação do uso agrícola e estimativa da degradação ambiental das terras da microbacia hidrográfica do riacho Una, Sapé-PB**. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G.; REICHERT, J. M.; MORO, M. Implicações do uso e manejo do solo e das variações climáticas sobre os recursos hídricos. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C.; **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p. 307-365, 2007.

MINORA, P. L. S.; AMARO, V. E.; BOORI, M. S. VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. **Mapas de vulnerabilidade natural e ambiental em escala de detalhe para a região do complexo estuarino Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil**. (Anais), Universidade de Coimbra, 2010.

MORAES, M. E. B. Introdução: por que estudar bacias hidrográficas? In: MORAES, M. E. B.; LORANDI, R.(organizadores). **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus, 2016. 283 p. Disponível: <http://static.scielo.org/scielobooks/4wbr2/pdf/moraes-9788574554433.pdf>. Acesso em: 20 de junho 2017.

NEVES, E. H. **Análise da degradação ambiental da bacia hidrográfica do arroio Pelotas-RS, através do diagnóstico físico conservacionista (DFC)**. 158f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PAZ, F. N. V. **Diagnóstico Físico-conservacionista da bacia do ribeirão Lajes em Aragominas Tocantins**. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2013.

QGIS Development Team, 2017. QGIS 2.14 Essen, Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

RAFFO, J. G. G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia – USP** volume especial de 30 anos, 26-37, 2012.

RIBEIRO, A. S.; MINCATO, R. L.; CURI, N.; KAWAKUB, F. S. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09 n. 01, p. 16-31, 2016.

ROCHA, A. B. **Análise multitemporal da dinâmica do uso e ocupação do baixo curso do Rio Apodi-Mossoró-RN (1989-2009)**. 113f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ROCHA, A. B. **Aplicação do Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC na microbacia do município de Luís Gomes-RN**. 87f. Monografia (Curso de Especialização em Geografia do Nordeste – Desenvolvimento Regional e Gestão do Território). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2008.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas. In: Venturi, L.A.B. **Praticando Geografia: Técnicas de Campo e Laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 147 - 166.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: n. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S.; PRETTE, M. E. D. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 12, p. 89-121, 1998.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, p.234-281, 1977.

SANTOS, A. F. **Estudo agroambiental de uma bacia hidrográfica, visando sua sustentabilidade**. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia-Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**v.16, n. 8, p. 871-880, 2012.

SANTOS, W. O. **Máximas intensidades e índices de erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte**. 125f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Natal, 1998.

SEMARH. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos. **Monitoramento**: açudes e lagoas. Acesso em 20 de jun 2017. Disponível:<http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/Monitoramento/FichaTecnica?idReservatorio=6>

TARBOTON, D. **Terrain Analysis using digital Elevation models - TAUDEM**. Acesso em: 20 de junho 2017. Disponível em: <[http:// hydrology.usu.edu/taudem/taudem3.1/](http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem3.1/)>.

TUNDISI, J. G. (coord.). **Recursos hídricos no Brasil**: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p. Acesso em 20 de junho 2017. Disponível: <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-5923.pdf>

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Recursos hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Earth Explorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Acesso em: 02 mai. 2017

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: A guide to conservation planning. Washington: US Department of Agriculture, 1978. 58p. Agriculture Handbook, n.537.