

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MEIO AMBIENTE E QUALIDADE**  
**AMBIENTAL**  
**LINHA DE PESQUISA: GESTÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL**

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JORDÃO-MG COM USO DE REDES  
NEURAS ARTIFICIAIS**

**IMAGEM 3D**

**Uberlândia-MG, 2016**

**RENATA RIBEIRO DA SILVA RAMOS**

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JORDÃO-MG COM USO DE REDES  
NEURAIS ARTIFICIAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Qualidade Ambiental, área de concentração: Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, linha de pesquisa: Gestão e Monitoramento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva.

**Uberlândia-MG, 2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

R175p  
2016 Ramos, Renata Ribeiro da Silva, 1989-  
Proposta de método para análise da fragilidade ambiental na  
bacia hidrográfica do rio Jordão-MG com uso de redes neurais  
artificiais / Renata Ribeiro da Silva Ramos. - 2016.  
120 f. : il.

Orientador: Claudionor Ribeiro da Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.  
Inclui bibliografia.

1. Qualidade ambiental - Teses. 2. Degradação ambiental -  
Teses. 3. Bacias hidrográficas - Teses. 4. Redes neurais  
(Neurobiologia) - Teses. I. Silva, Claudionor Ribeiro da. II.  
Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação  
em Qualidade Ambiental. III. Título.

---

CDU: 574

## ***DEDICATÓRIA***

*Com carinho, aos meus eternamente amados, queridos e inesquecíveis pais:*

*Willer e Silvânia!*

## *AGRADECIMENTOS*

Agradeço à Deus pela vida e saúde (seja ele qual e como for).

Aos meus avós Mauricio e Conceição e José Anício e Cinira (*in memoriam*).

À meus pais.

À minha irmã, Luciana.

À meu grande companheiro, amigo e amado Mauricio.

Ao meu orientador Claudionor, que além de professor, é também um grande amigo, o qual tive a sorte e oportunidade de conhecer e à quem sou muito grata, por ter aceitado o convite, acreditado, conduzido e me ajudado muito no presente trabalho e em especial pela paciência, confiança, prestatividade, compreensão, pelos ensinamentos, conhecimentos e pela troca de experiências que só me acrescentaram.

Aos demais familiares, amigos, professores, técnicos e colegas de trabalho, entre eles, Wesley, Diogo, Franciele, William, Marília, Iracilda, Luiza, Marina, professores Ednaldo, Marília, Aracy, Santil, Heitor, Adriano, que, sempre dispostos a ajudar, contribuíram e me auxiliaram, de várias formas, em diversos momentos, inclusive nos trabalhos de campo, como meu pai, Mauricio, professora Marília e professor Claudionor, possibilitando a concretização deste trabalho.

Aos professores Claudinei e Marília por terem participado da banca de defesa, dando contribuição indispensável ao presente trabalho.

Ao Instituto de Ciências Agrárias/ICIAG-UFU.

À FAPEMIG, por conceder a bolsa de pesquisa e estudos durante todo o período de mestrado.

À UFU pela oportunidade!

“*NAMASTÊ*”!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE QUADRO.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	6
1.1.1. Objetivo Geral.....	6
1.1.2. Objetivos Específicos.....	6
1.2. JUSTIFICATIVA.....	6
1.3. HIPÓTESE.....	9
<b>2. REVISÃO E REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1. GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL.....	10
2.2. FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	13
2.2.1. Meio Ambiente e Paisagem.....	13
2.2.2. Teoria dos Sistemas e Geossistemas.....	15
2.2.3. Estudos em Fragilidade Ambiental.....	16
2.3. BACIAS HIDROGRÁFICAS E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	20
2.3.1. Bacia Hidrográfica do Rio Jordão – BHRJ.....	24
2.4. CARTOGRAFIA E GEOINFORMAÇÃO.....	27
2.4.1. Sensoriamento Remoto.....	29
2.4.2. Processamento Digital de Imagem – PDI.....	31
2.5. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS - RNAs.....	33
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS.....	39
3.1.1. ASTER e Landsat 8.....	39
3.1.2. Dados Climatológicos, Geomorfológicos, Geológicos, Pedológicos, de Áreas Urbanas e de Uso e Ocupação do Solo.....	41
3.1.3. Softwares Utilizados.....	42
3.2. METODOLOGIA.....	43
3.2.1. Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão.....	45
3.2.2. Mapa Temático de Precipitação.....	46
3.2.3. Mapa Temático de Temperatura.....	47

3.2.4. Mapa Temático de Hipsometria.....	48
3.2.5. Mapa Temático de Declividade.....	48
3.2.6. Mapa Temático de Curvatura.....	49
3.2.7. Mapa Temático de Sombreamento.....	50
3.2.8. Mapa Temático de Geologia.....	50
3.2.9. Mapa Temático de Distâncias das Fraturas.....	51
3.2.10. Mapa Temático de Pedologia.....	51
3.2.11. Mapa Temático de Distâncias das Áreas Urbanas.....	52
3.2.12. Mapa Temático de Uso e Ocupação do Solo.....	52
3.2.13. Trabalhos de Campo.....	54
3.2.14. Análise da Fragilidade Ambiental com uso de Redes Neurais Artificiais.....	57
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>61</b>
4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS.....	61
4.2. MAPAS TEMÁTICOS.....	62
4.2.1. Climatologia (precipitação e temperatura).....	63
4.2.2. Geomorfologia (hipsometria, declividade, curvatura e sombreamento).....	64
4.2.3. Geologia (litotipos/unidades geológicas e distâncias das fraturas).....	65
4.2.4. Pedologia.....	67
4.2.5. Distâncias das Áreas Urbanas.....	67
4.2.6. Uso e Ocupação do Solo.....	68
4.3. MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL COM USO DE RNA.....	69
4.4. INTERAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS E FATORES USADOS PARA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL.....	73
<b>5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>100</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BHRJ	Bacia Hidrográfica do rio Jordão/MG
CBH	Comitês de Bacias Hidrográficas
CCI	Câmara de Comércio Internacional
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CSR	Centro de Sensoriamento Remoto
GPS	Global Positioning System
HidroWeb	Sistema de Informações Hidrológicas
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHS	Intensidade, Matiz e Saturação.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KNN	K-Nearest Neighbor
MaxVer	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PDI	Processamento Digital de Imagem
PPGMQ	Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
RNA	Rede Neural Artificial
SELPER	Sociedade de Especialistas Latino-americanos em Sensoriamento Remoto
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SICOR	Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIN	Sistema de Produção e Transmissão de Energia Elétrica do Brasil
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente



SRTM Shuttle Radar Topography Mission  
UFU Universidade Federal de Uberlândia  
WGS84 World Geodetic System

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Interações entre planejamento, gerenciamento e gestão ambiental.....	12
<b>Figura 2.</b> Fases a serem consideradas no Planejamento ambiental.....	12
<b>Figura 3.</b> Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão.....	25
<b>Figura 4.</b> Representação de um neurônio biológico e um artificial.....	35
<b>Figura 5.</b> Representação de um sistema neural artificial.....	36
<b>Figura 6.</b> Fluxograma da metodologia proposta.....	44
<b>Figura 7.</b> Ilustração e espacialização dos trabalhos de campo.....	56
<b>Figura 8.</b> Arquitetura da Rede Neural Utilizada.....	57
<b>Figura 9.</b> Mapa Temático Resultante, com a Fragilidade Ambiental da BHRJ gerada por RNA.....	70
<b>Figura 10.</b> <i>Plot</i> gerado pela RNA com valores para RMS e número de Iterações....	72
<b>Figura A.</b> Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA.....	74
<b>Figura B.</b> Média de Precipitação na BHRJ.....	74
<b>Figura C.</b> Temperaturas na BHRJ.....	76
<b>Figura D.</b> Hipsometria da BHRJ.....	78
<b>Figura E.</b> Declividades da BHRJ.....	80
<b>Figura F.</b> Curvaturas na BHRJ.....	82
<b>Figura G.</b> Relevo Sombreado da BHRJ.....	84
<b>Figura H.</b> Geologia da BHRJ.....	86
<b>Figura I.</b> Distâncias das Fraturas da BHRJ.....	88
<b>Figura J.</b> Pedologia da BHRJ.....	90
<b>Figura K.</b> Distâncias das Áreas Urbanas da BHRJ.....	92
<b>Figura L.</b> Uso e Ocupação do Solo na BHRJ.....	94

## LISTA DE QUADRO

<b>Quadro 1.</b> Características do Landsat 8 (OLI e TIRS).....	40
---	----

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Pontos do trabalho de campo.....	55
<b>Tabela 2.</b> Ordem dos dados de entrada na RNA.....	59
<b>Tabela 3.</b> Estatísticas correspondentes ao modelo de regressão linear.....	62
<b>Tabela 4.</b> Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (MG).....	66
<b>Tabela 5.</b> Valores de concordância com base no índice kappa.....	68
<b>Tabela 6.</b> Demais variáveis com suas respectivas ordens de fragilidade.....	71

## RESUMO

Esta pesquisa surge com o intuito de se propor um método mais eficaz, rápido e econômico, para os estudos ambientais. Estudos como os de fragilidade ambiental merecem cuidados e um conhecimento amplo, de diversas áreas do conhecimento, já que deve levar em conta uma série de variáveis naturais e antrópicas. A paisagem de grandes áreas, como uma bacia hidrográfica, consiste em um sistema ambiental complexo e, portanto, merecedor de metodologias que conseguem analisá-la por completo, a fim de identificar sua situação atual e propor soluções em casos críticos, que ameacem a qualidade ambiental (ser humano + natureza). Uma das justificativas desse estudo é a carência de informações sobre a BHRJ, que possui vários e significativos empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, feições cênico-paisagísticas, uso e ocupação do solo diversificado e áreas de preservação. O presente estudo teve então como objetivo identificar e classificar a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Jordão/MG (BHRJ) a partir da aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNA). Foram feitas análises do resultado da RNA com cada variável considerada na determinação da fragilidade ambiental na BHRJ, envolvendo precipitação e temperatura superficial, como variáveis climatológicas; hipsometria, declividade, curvatura e sombreamento, como variáveis geomorfológicas; litotipos/unidades geológicas e distância de fraturas, como variáveis geológicas; tipos de solos, como variável pedológica; distâncias de áreas urbanas, como variável urbana e uso e ocupação do solo como variável antrópica. A partir desses resultados validou-se o método proposto como viável para análise de sistemas complexos, já que conseguiu gerar um resultado levando-se em consideração todas as variáveis escolhidas para uso aqui, em menor tempo e com menor custo. No geral, o resultado obtido com uso da RNA indicou áreas frágeis para a BHRJ as quais correspondem a áreas frágeis também na realidade, considerando a predominância ou de uma geologia instável, ou da ausência de cobertura e proteção do solo, entre outras características e feições que realmente podem tornar o local mais ou menos fragilizado, especialmente em termos de deslizamentos e/ou erosão.

**Palavras-chave:** Fragilidade Ambiental. Redes Neurais Artificiais. Geoinformação. Bacia Hidrográfica do Rio Jordão-MG.

## ABSTRACT

This research appears with the intention of intending a method more effective, fast and economical, for the environmental studies. Studies as the one of environmental fragility deserve cares and a wide knowledge, of several areas of the knowledge, since it should take into account a series of natural and anthropics variables. The landscape of great areas, as a hydrographic basin, consists of a complex environmental system and, therefore, worthy of methodologies that get to analyze her entirely, in order to identify your current situation and to propose solutions in critical cases, that threaten the environmental quality (human + nature). One of the justifications of that study is the lack of information about BHRJ, that possesses several and significant enterprises, as the hydroelectric plants, features scenic-landscape, diversity of use and occupation of soil and preservation areas. The present study had as objective identifies and to classify the environmental fragility in the basin of the river Jordão/MG (BHRJ) starting from the application of Artificial Neural Networks. They were made analyses of the result of RNA starting from each variable considered in the determination of the landscape sensitivity of the BHRJ, involving precipitation and superficial temperature, as climatological variables; hypsometry, slope, curvature and hillshade, as geomorphological variables; geological lithotypes and units, and distance of fractures, as geological variables; types of soils, as pedological variable; distances of urban areas, as urban variable and use and occupation of the soil as anthropic variable. To leave of those results the method it was validated proposed as viable for analysis of complex systems, since it got to generate a result here being taken in consideration all the chosen variables for use, in smaller time and with smaller cost. In the general, the result obtained with use of RNA it indicated fragile areas for BHRJ which also correspond to fragile areas in reality, considering the predominance or of an unstable geology, or of the absence of covering and protection of the soil, among other characteristics and features that can actually make the environment more or less fragile, especially in terms of sliding and/or erosion.

**Keywords:** Environmental Fragility. Artificial neural networks. Geoinformation. Basin of Jordan River-MG.

## 1. INTRODUÇÃO

As questões ambientais no Brasil têm tido maior respaldo recentemente, especialmente a partir da implantação de Leis específicas no país e da ocorrência crescente de fenômenos que causam a degradação ambiental a qual tem provocado uma discussão acerca da abrangência, atualização e prática dessa legislação.

Tais fenômenos, embora possam ser causados também por agentes naturais, são agravados pela intensa atividade antrópica exercida no meio ambiente.

Atualmente, a busca por um tipo de desenvolvimento imposto, o crescimento exacerbado da população e do consumo, a expansão urbana das cidades e o caráter predatório do sistema político-econômico vigente se aceleram, onde ações antrópicas são executadas sem seus devidos planejamentos. Nessas condições, esses fatores implicam em prejuízos e problemas tanto para o ser humano (sociedade) quanto para o ambiente natural (meio físico), afetando a qualidade ambiental de determinado lugar ou paisagem, seja rural ou urbana comprometendo a disponibilidade (em quantidade e qualidade) dos recursos naturais em longo prazo.

Nos últimos anos tem aumentado a atenção do ser humano para o fato de que, como parte da natureza, cabe à ele conservá-la e assim garantir sua sobrevivência (VALLE, 2012).

No contexto atual de nosso país, problemas ambientais têm sido discutidos e divulgados, com maior fundamento, de algumas décadas até atualmente e, com maior frequência, nos últimos anos, por mais que algumas das primeiras questões ambientais abordadas, de forma geral, não sejam mais tão recentes assim. Em contexto internacional, por exemplo, um dos primeiros grandes eventos para se discutir a questão ambiental global foi realizado em 1972, em Estocolmo (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente), estando perto de completar meio século de ocorrência.

O fato acima se deve também tanto às cobranças legais e à própria preocupação da população, mesmo que de uma pequena parcela, com as leis e medidas que vem sendo estabelecidas e implantadas (mesmo que falhas, injustas e, ainda sim, impraticáveis em muitos casos), e com o aumento dos impactos negativos de problemas ambientais que afetam diretamente nossas vidas.

Questões importantes sobre o meio ambiente, como o histórico dos principais eventos e fatos ambientais, em contextos globais ou nacionais, a evolução histórica da Política Ambiental, internacional e brasileira, abordagens sobre a sustentabilidade

ambiental e história do movimento ambientalista foram discutidas com responsabilidade por diversos autores e estão disponíveis em uma grande variedade de obras e documentos (ALMEIDA et al., 2008; CUNHA e GUERRA, 2003; FERREIRA, 2011; FRANCO et al., 2012; McCORMICK, 1992; McNEILL et al., 2010; SANTOS, 2004; SOUZA, 2000; VALLE, 2012).

Os problemas ambientais podem não só serem antrópicos como também naturais embora com menor intensidade. Os naturais acontecem naturalmente, como por exemplo, queimadas provocadas pela própria incidência da luz solar, por alguns processos de desertificação, entre outros, enquanto que os antrópicos são causados pela ação humana e geralmente possuem maior intensidade como visto em práticas como o desmatamento para implantação de pastagens, a expansão da agricultura sem manejo e o processo de urbanização, hoje incontrolável pela expansão urbana das cidades brasileiras que ocorre, em sua maioria, sem um planejamento urbano e ambiental adequado. As cidades, conforme citado por Braga (p. 113, 2003), são as construções humanas de maior impacto na superfície terrestre. E sendo assim, também merecem destaque nas análises de fragilidade ambiental.

Os problemas ambientais devem ser analisados caso a caso, levando-se em consideração o local de origem, os agentes envolvidos, as condições para desenvolvimento dos mesmos, entre uma série de fatores que possam contribuir para a tomada de soluções. É importante destacar a diferença política e econômica que existe nas diversas partes do mundo, o que mostra diferentes interesses envolvidos ao se estudar uma questão ambiental, independentemente da escala de abrangência e de ocorrência (variando tipo e quantidade de atores, agentes, elementos, variáveis e intensidade de fenômenos envolvidos na questão), pois interferem e influenciam na tomada de decisões.

Como exposto por Ross (1993), salvo algumas regiões do planeta, os ambientes naturais se mostravam em estado de equilíbrio dinâmico no princípio, até o momento em que as sociedades passaram a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais. Essa interferência negativa do homem no meio ambiente, no uso exploratório dos recursos naturais esgotáveis (água, solo, ar, vegetação e minerais), sem sua devida conservação, dependendo do nível de exploração e degradação, pode tornar esses bens indisponíveis (em quantidade e/ou qualidade), ou com danos praticamente irreversíveis, o que acaba por afetar o equilíbrio dinâmico-natural de uma paisagem.



Porém, é possível estabelecer um paralelismo entre o avanço desta exploração com o cada vez mais complexo desenvolvimento tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas (ROSS, 1993). Tal desenvolvimento influencia os diversos tipos de usos que decorrem, por exemplo, de atividades industriais, agropecuárias, energéticas, e, até mesmo, turísticas, sem seus devidos planejamentos. Assim, o nível de degradação também varia de acordo com a intensidade e frequência de cada uma destas atividades. Dessa forma, o índice de vulnerabilidade de cada elemento disposto na paisagem vai ser diferente, bem como serão também os índices de fragilidade.

Sendo assim, a gestão, planejamento, manejo e o monitoramento ambiental, devem caminhar lado a lado com as atividades antrópicas que geralmente são aplicadas no meio natural causando impactos. Ações de controle e monitoramento de uso do meio natural são fundamentais para resolver, mitigar ou evitar os problemas ambientais e impactos negativos.

Uma das maneiras de aplicar a gestão ambiental em uma paisagem, monitorando as ações e intervenções antrópicas e as atuais situações físico-naturais, é avaliando os diferentes níveis/ graus de fragilidade ambiental existentes, identificando as áreas mais críticas. Esse escalonamento da fragilidade permite propor planos para a conservação e preservação dos recursos naturais (para sua manutenção em boa qualidade), principalmente os recursos hídricos, dado que a água é um elemento fundamental à vida.

A fragilidade ambiental é comumente caracterizada por um conjunto de índices isolados, medidores da vulnerabilidade de cada um dos elementos que compõem uma determinada paisagem. Indica assim, o grau, o risco, a possibilidade/suscetibilidade de determinada área à instabilidade ambiental. Quanto mais fragilizada a área, mais instável e sujeita a processos e fenômenos negativos como erosão do solo, deslizamento de massa, intemperismos (químico, físico e biológico). Dependendo da dimensão do impacto, ele pode comprometer a segurança, bem estar e a saúde da população naquele local, podendo implicar em consequências não só *in loco*, mas, também, pode afetar áreas adjacentes, quando se considera o sistema ambiental como uma rede ou sistema aberto.

Estudos sobre fragilidade ambiental geralmente são realizados em áreas bem delimitadas, devido a necessidade de uma melhor quantidade de detalhes, maior precisão e riqueza de informações. Decorrida a importância de se definir bem a área a ser estudada, a preferência geralmente é dada para as bacias hidrográficas, por ser a

melhor unidade territorial para gestão dos recursos hídricos e para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, como definido pela Lei 9.433/97.

Um empecilho para os estudos nessa vertente é que os mesmos consistem em trabalhos minuciosos (exige mão de obra capacitada), exaustivos (demanda tempo) e onerosos (alto custo devido ao tempo e tecnologia usada), que demandam ainda informações de diversos elementos, envolvendo uma série de variáveis, agentes e/ou fenômenos. Portanto, o estudo da fragilidade ambiental é um estudo complexo, que necessita de bons e eficientes métodos que consigam analisar todas as variáveis em um conjunto, de uma única vez, e apresentar resultados mais precisos, condizentes com a realidade.

Para amenizar/contornar esse problema, têm sido propostos alguns métodos, com uso de softwares de **SIG** (Sistemas de Informação Geográfica), para modelar tais fenômenos. Nessas propostas, o usuário entra com as variáveis (sejam elas, geologia, pedologia, precipitação e geomorfologia, entre outras), geralmente definidas aleatoriamente em grupos de classes discretas, na forma de produtos/mapas digitais, para posterior geração do mapa de fragilidade. Os produtos/mapas são geralmente analisados dois a dois, o que aumenta o tempo de análise.

Dada a complexidade do problema e das bacias hidrográficas, uma forma de realizar tais estudos de maneira mais criteriosa é fazendo uso de geotecnologias, através, por exemplo, da análise e processamento de imagens digitais de satélites, que são dados de custo relativamente baixo, cobrem áreas extensas, além de possuírem informações espectral/espacial/textural que permitem a discriminação, em meio digital, de alvos presentes na superfície terrestre. Dependendo da escala a ser trabalhada e objetivo almejado, alguns desses produtos podem ser encontrados gratuitamente (entre outras fontes pela **NASA** – Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica e **INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, por exemplo), o que simplifica o trabalho, aumentando o ganho econômico.

Com imagens digitais dos satélites da série Landsat, por exemplo, é possível gerar mapas de distâncias, de temperatura superficial e de uso e ocupação do solo, por meio de técnicas de classificação de imagens, segmentação e/ou de índices como o **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*). Outros dados digitais interessantes e gratuitos para análises diversas são: **SRTM** e **ASTER** (disponibilizados pela NASA através do site “*earthexplorer*” da **USGS**), que consistem em modelos digitais de

elevação da superfície terrestre, a partir dos quais se pode obter subprodutos como índices de declividade e curvaturas do relevo, limites de bacias hidrográficas, imagens de altimetria, sombreamento e hipsometria.

Esses subprodutos são indispensáveis na análise da fragilidade ambiental de uma determinada área, seja ela uma bacia hidrográfica ou outra qualquer. Outros dados espaciais importantes nesse tipo de estudo são os meteorológicos e climatológicos, geralmente gerados por interpolação dos dados pontuais de estações, que também são disponibilizados gratuitamente (INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas e outros).

São várias as abordagens analisadas com esse conjunto de dados geoespaciais, na tentativa de explicar fenômenos como a fragilidade ambiental. Em maioria estão as abordagens estatísticas, que tentam modelar uma função que explica esses fenômenos. Por outro lado, existem as abordagens não estatísticas, menos exploradas, como aquelas com o uso de Redes Neurais Artificiais (RNA), que imitam computacionalmente o funcionamento do cérebro humano. Por ser ainda incipiente, essa última abordagem é o foco do presente trabalho, a fim de analisar a fragilidade com a integração de diversas variáveis considerando informações climatológicas, geomorfológicas (topográficas, etc.), geológicas, hidrológicas, urbanas e de uso e ocupação do solo.

Dessa forma, aumenta-se a demanda e a necessidade de busca por soluções, por mudanças de hábitos e de ideologias, por fiscalizações, punições e cobranças, além de estudos e pesquisas mais aprofundados que considerem inovações técnico-científicas na área ambiental. Portanto, hoje em dia, torna-se fundamental a elaboração e a prática de bons planos e modelos de planejamento, monitoramento e gestão ambiental, visando a fiscalização das atividades antrópicas, o controle e a redução, até extinguirem os impactos negativos daí decorridos, ou ao menos amenizá-los, com propostas de diretrizes para a conservação e medidas mitigadoras viáveis de execução, bem como propostas de novos métodos que consigam atender tais demandas a um curto prazo e de forma eficaz.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Identificar e classificar a fragilidade ambiental, em relação aos parâmetros de deslizamentos e erosão dos solos, na bacia hidrográfica do rio Jordão/MG utilizando Redes Neurais Artificiais.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos o presente trabalho pretende:

- Definir o limite da bacia hidrográfica do rio Jordão;
- Gerar cartas imagem digitais das feições: temperatura, hipsometria/altimetria, declividade, curvatura, sombreamento, distância das fraturas, distância das áreas urbanas e uso e ocupação do solo, bem como preparar/processar os mapas temáticos de precipitação, geologia, e pedologia;
- Produzir mapa de fragilidade ambiental para a bacia hidrográfica do rio Jordão/MG com uso de RNA;
- Gerar um banco de dados sobre a bacia hidrográfica do rio Jordão/MG;
- Analisar o resultado gerado pela RNA a partir das classes de fragilidade ambiental, nos processos de deslizamentos e erosão, identificadas na paisagem da bacia hidrográfica do rio Jordão/MG.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Os estudos ambientais devem envolver conhecimentos de diferentes áreas do saber, sejam elas da Geografia, Biologia, Engenharias, Sociologia, Computação, Direito, Química, Agronomia, Arquitetura e Urbanismo, entre outras, capazes de contribuir cada uma com seus elementos específicos, para uma avaliação mais complexa da situação em estudo, por isso possui um caráter interdisciplinar, o que justifica a proposta desse estudo no PPGMQ. Essa multidisciplinaridade pode proporcionar soluções mais efetivas, a fim de fornecer benefícios tanto para a preservação dos recursos naturais quanto para a vida do ser humano com ele

relacionado, pois garante uma proposta de resultados mais concisos aos problemas ambientais, que geralmente são problemas complexos.

Atualmente aparatos legais exigem estudos ambientais para implantação de vários empreendimentos, como usinas hidroelétricas, extração mineral, agropecuária, entre outros. Isso justifica a necessidade de avaliar a qualidade ambiental (o que inclui a qualidade de vida) em locais que já possuem atividades e empreendimentos em andamento, como no caso da bacia hidrográfica do rio Jordão/MG (BHRJ), identificando áreas críticas, ou seja, com alto grau de fragilidade ou baixa resistência que pode decorrer também dessas atividades antrópicas. Esse estudo busca apontar tais áreas, através da análise das classes de fragilidade ambiental, que possam estar suscetíveis tanto à erosão, aos movimentos de massa e ao intemperismo físico-químico quanto a outros processos prejudiciais ao equilíbrio dinâmico desta paisagem da BHRJ.

O presente trabalho justifica-se ainda pela demanda por planejamento e gestão ambiental a nível, sobretudo, de bacias hidrográficas, por ser considerada a unidade elementar para o planejamento dos recursos hídricos. Conhecendo as fragilidades e potencialidades dessas unidades torna-se possível propor, testar e validar o uso de instrumentos necessários para a gestão de elementos essenciais à vida tais como a água, ar e o solo.

O monitoramento ambiental em uma área definida e delimitada com precisão também se torna mais fácil e praticável, portanto, se considerado o uso de ferramentas adequadas e a definição de bons planos, a partir de metas traçadas, para propor soluções de prevenção contra possíveis danos. Os produtos gerados nessa pesquisa são ferramentas úteis para o monitoramento ambiental.

O critério de bacia hidrográfica é comumente usado e sua adoção como unidade de planejamento é de aceitação universal porque constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas, constitui-se ainda numa unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, um limite nítido para ordenação territorial e está assumida em muitos estudos acadêmicos, planejamentos oficiais e pelo menos em um ato legal (SANTOS, 2004).

Se tratando da água, esse é um elemento essencial à vida, solvente universal, fundamental para atividades comerciais, industriais, energéticas e ainda propício ao lazer, a recreação e a higiene. Atualmente é alvo de discussão, preocupação e disputa, especialmente sobre o seu uso, dada a escassez de água potável vivenciada no país. A

BHRJ, além de conter a água como um dos principais elementos, é composta por uma série de outros recursos naturais, potencialidades e atividades antrópicas significativas, considerando-se sua extensão. A BHRJ faz parte da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, a qual compõe a segunda maior região hidrográfica do país e apresenta o maior desenvolvimento econômico, segundo atual Conjuntura dos Recursos Hídricos, lançada pela ANA.

A BHRJ é uma área ainda não explorada em termos de estudos publicados voltados à determinação de sua fragilidade ambiental. O levantamento e busca por informações teóricas a respeito da temática, a seleção e divulgação de dados geográficos e ambientais importantes da área, a produção de um banco de dados e demais materiais como mapas temáticos, cartas imagens e relatórios técnicos, passíveis de consultas e usos em outros estudos são inéditos, inovadores e estarão publicados, acessíveis a qualquer interessado incluindo aqueles interessados em se propor medidas mitigadoras e soluções ambientais para a área.

Analisando a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Jordão se identifica não só possíveis vulnerabilidades de vários elementos e locais específicos como também as potencialidades existentes, como o potencial econômico, cultural e turístico, possível por meio da implantação de hidrelétricas, das práticas de cultivos diversos, das feições paisagísticas e da geodiversidade presente, dos geopatrimônios e patrimônios histórico-culturais. Esses potenciais, se bem geridos e manejados, podem fazer da bacia um bom atrativo geoturístico e polo modelo de gestão ambiental integrada para a região.

Entre os principais fatores que justificam a realização deste trabalho está a necessidade em discutir e resolver as questões ambientais, pensando em garantir a qualidade ambiental a longo prazo, para presentes e futuras gerações, em tempo hábil e com baixo custo, o que pode parecer difícil, porém, possível, com o uso de geotecnologias e proposta de modelos apropriados, nesse caso, como se propõe que seja realizado com a aplicação do método das RNA.

A técnica das RNA vem sendo empregada em larga escala e tem sido aceita no meio científico devido aos bons resultados apresentados. A RNA é uma técnica que simula o funcionamento do cérebro humano e utiliza-se de modelos computacionais e matemáticos bem sistematizados para resolver problemas e analisar sistemas complexos, em tempo relativamente curto, onde são envolvidas várias variáveis, como é o caso de temáticas como a fragilidade ambiental. É sabido que uma análise

convencional de fragilidade ambiental (realizada por especialistas com dados puramente coletados em campo) demandam muito tempo, mão de obra qualificada e recursos, o que também pode ser poupado, em partes, com o uso das Redes Neurais aliadas às geotecnologias.

### 1.3. HIPÓTESE

Os problemas das questões ambientais são difíceis de serem solucionados por elas corresponderem a sistemas complexos, onde há interação de diversos elementos e fatores ao mesmo tempo, relacionados com o homem e, logo, com o meio ambiente sendo necessária então uma análise conjunta. As RNA surgem como uma ferramenta capaz de nortear soluções à esses problemas, uma vez que foi criada com o propósito de analisar e solucionar problemas complexos onde seja envolvido um grande número de variáveis. Essa técnica permite integrar todos os elementos e fatores ambientais que são analisados nessa pesquisa (precipitação, temperatura, hipsometria, declividade, curvatura, sombreamento, geologia, distâncias entre fraturas e distâncias entre áreas urbanas, pedologia e uso e ocupação do solo), considerando ainda a redução do tempo de processamento, em uma única análise, apresentando uma saída/resultado que expressa o mapeamento da fragilidade ambiental de uma região, o qual aponta as áreas mais críticas, com maior fragilidade, de paisagens como a bacia hidrográfica.

## 2. REVISÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

A proposta abordada no presente trabalho surge no sentido também de atender a linha de pesquisa do curso de mestrado em questão e as necessidades ligadas a efetivação de planos de gestão ambiental no país, com sua aplicação na prática, assim se faz importante uma abordagem mesmo que sucinta de termos condizentes com a administração ambiental, como gestão, planejamento, gerenciamento, monitoramento e manejo ambientais.

Para Santos (2004), no Brasil as indicativas de planejamento ambiental ainda não atingem o ideário proposto pelo fato de, por exemplo, ter que obter respostas ágeis para áreas extremamente complexas e deficientes de informação e frente a uma velocidade de mudanças políticas incontável. Assim, o método aqui proposto pode ser uma expectativa para superação de parte desse entrave.

Para Baldwin (1981), tem-se que o planejamento e o manejo ambientais podem ser definidos como o iniciar e a execução de atividades para dirigir e controlar a coleta, a transformação, a distribuição e a disposição dos recursos sob uma maneira capaz de sustentar as atividades humanas, com um mínimo de distúrbios nos processos físicos, ecológicos e sociais. Entre várias propostas, a ONU (1992), por exemplo, apresenta uma definição própria para planejamento sob uma perspectiva ambiental, a qual consiste em um processo que interpreta os recursos naturais como o “substrato” das atividades do homem que nele se assentam e sobre ele se desenvolvem, buscando melhor qualidade de vida.

Quanto ao gerenciamento ambiental, como defendido por Santos (2004), não deve ser confundido com planejamento, uma vez que é um momento interativo de uma proposta de ordenamento onde o planejamento predominaria nas primeiras fases e o gerenciamento nas fases posteriores. Estaria mais ligado então à aplicação, administração, controle e monitoramento das alternativas propostas pelo planejamento.

A gestão ambiental faz parte de um processo mais amplo de gestão do território, aspecto para o qual ainda não se deu a devida relevância. A falta de uma articulação mais forte entre as ações e estratégias de gestão ambiental e territorial pode ser creditada a uma série de fatores explicativos, entre os quais a incapacidade de o Estado brasileiro



implementar políticas integradas de transformação socioespacial e de regulação dos comportamentos individuais e coletivos (CUNHA e COELHO, 2007).

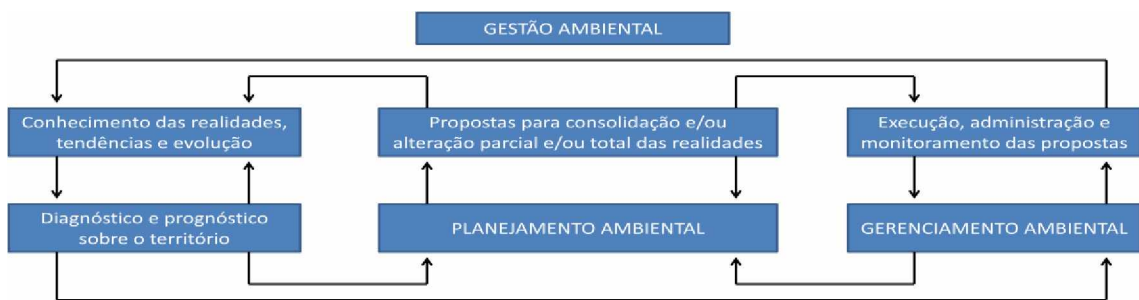
A Gestão possui instrumentos para facilitar e direcionar sua aplicação para que se efetive da melhor forma, os quais foram apontados por Almeida et al. (2008) como sendo: a Legislação Ambiental e Urbanística, Avaliação de Impacto e Licenciamento Ambiental, Fiscalização Ambiental, Zoneamento Ambiental, Educação, Extensão e Comunicação Ambiental, Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, ICMS Ecológico, Saneamento Básico e Unidades de Conservação.

Se tratando de Legislação Ambiental Valle (2012) destaca uma ampla abordagem legal que trata sobre meio ambiente em nosso país, apresentando uma relação de vários instrumentos e documentos legais que fundamentam e legitimam a questão ambiental no Brasil em suas diversas vertentes, sejam recursos sólidos, hídricos, unidades de conservação, qualidade do ar, etc. Entre eles tem-se: 66 principais documentos da Legislação Federal, dos quais a própria Constituição (que trata do Meio Ambiente em seu artigo 225), 23 decretos, 36 leis, 1 instrução normativa e 5 normas regulamentadoras; das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) são 51 as principais; 134 principais Normas Técnicas Brasileiras sobre Meio Ambiente e mais a série de Normas ISO 14000, que totalizam em 24, além de outros documentos não menos importantes.

A proposta então, como exposto por Santos (2004), é que gestão ambiental seja interpretada como a integração entre o planejamento, o gerenciamento e a política ambiental. Nessa direção, planejamento ambiental é visto como o estudo que visa à adequação do uso, controle e proteção ao ambiente, além do atendimento das aspirações sociais e governamentais expressas ou não em uma política ambiental.

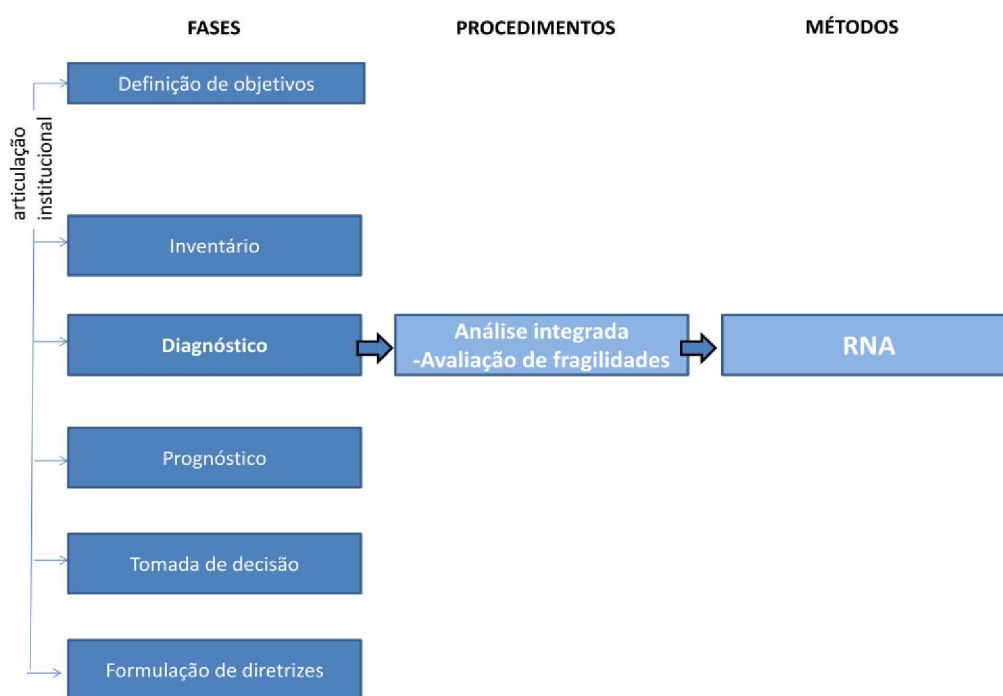
Assim, segue um esboço de como seria esse conjunto e suas relações (Figura 1), bem como uma sequência com a ordem das principais fases a serem seguidas em um planejamento (Figura 2), segundo adaptações que foram feitas a partir de modelos elaborados e apresentados na obra de Santos (2004).

**Figura 1.** Interações entre planejamento, gerenciamento e gestão ambiental.



FONTE: Adaptado de Santos (2004).

**Figura 2.** Fases a serem consideradas no planejamento ambiental.



FONTE: Adaptado de Santos (2004).

A Figura 2, conforme Santos (2004), aponta fases a serem seguidas em um planejamento ambiental, as quais vão gerar determinados produtos, por meio de métodos e procedimentos específicos, como na fase de diagnóstico, por meio da análise integrada, pode se delimitar áreas de fragilidade ambiental utilizando-se, por exemplo, as Redes Neurais Artificiais.

## 2.2. FRAGILIDADE AMBIENTAL

É relevante fazer uma discussão, mesmo que breve, sobre alguns conceitos básicos, porém necessários, ao entendimento de todo o contexto, principalmente do termo específico “fragilidade ambiental”, tratados no presente trabalho. Conceitos como os de “ambiente” e “paisagem”, são então imprescindíveis para quem quer trabalhar e discorrer sobre problemas e questões ambientais no geral, considerando a gestão ambiental, os geossistemas, a fragilidade ambiental, entre outros temas onde seja fundamental fazer uma análise integrada de vários elementos e suas inter-relações.

### 2.2.1. Meio Ambiente e Paisagem

Como abordado por Christofolletti (1999), o substantivo ambiente e o adjetivo ambiental vêm sendo empregados de forma ampla e generalizada, muitas vezes com incoerências e erros grosseiros, já que é um termo que pode ser aplicado desde uma escala de grandeza mundial até uma microescala pontual, com diferentes significados. Ao mesmo passo que, para Bertrand (2004), a paisagem é um termo pouco usado e impreciso, por isso cômodo que cada um o utilize a seu bel prazer, na maior parte anexando um adjetivo que altere e restrinja seu sentido, tais como paisagem vegetal, paisagem rural, paisagem urbana, etc. Portanto, esse é um problema de ordem epistemológica segundo o autor.

Estudar uma paisagem é antes de tudo apresentar um problema também de método, como pode ser observado, por exemplo, na Cartografia de Paisagens (taxonomia, tipologia, dinâmica, etc.). Nesta ciência é possível, observar que cada autor possui diferentes pontos de vista, diferentes formas de abordagem, onde cada um utiliza um método específico e a realiza de uma forma diferente, seguindo determinados passos, escolhendo determinadas variáveis, o que torna significativo escolher uma linha mestra a ser seguida (BERTRAND, 2004).

Ambiente e “Meio Ambiente” ganharam definições diversas entre as quais serão tomadas duas como referência para o presente trabalho, as expostas pelas Nações Unidas e a descrita pela própria Lei Nacional de Meio Ambiente, conferindo, talvez, melhor embasamento legal e reconhecimento em escala global.

Em um dos primeiros grandes eventos realizados para discutir e divulgar as questões ambientais mundiais, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, declarou-se meio ambiente como “o conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos e sociais capazes de causar efeitos diretos ou indiretos, em um prazo curto ou longo, sobre os seres vivos e as atividades humanas”. Pela Lei sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Nº 6.938/81), meio ambiente se trata do “conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

Aproximando-se do conceito de meio ambiente, a paisagem surge como um dos conceitos geográficos mais abrangentes, como categoria de análise da Geografia, para alguns já foi inclusive considerada como objeto principal de estudo desta ciência, em certo período da história e durante a evolução da Geografia. Conceito às vezes também confundido e considerado como equivalente ao de “espaço geográfico” para alguns, pode-se dizer que uma paisagem corresponde a um conjunto de elementos que se interagem entre si e com o meio, em uma porção definida do espaço, seja este, por exemplo, o limite de uma bacia hidrográfica ou outro.

Por isso, ao se estudar temáticas ambientais, como no caso da fragilidade ambiental, deve-se levar em conta a integração de variáveis diversas dispostas na natureza juntamente da ação humana. Dessa forma, acredita-se que o critério de análise integrada do meio chega mais perto da concretização.

Faz-se importante considerar a paisagem, e suas escalas de abordagem, em análises ambientais, já que ela aparece como um objeto de estudo bem definido, que exige um viés metodológico de pesquisa. Tratando-se aqui de fragilidade ambiental, a paisagem vai assumir um papel principal, como objeto de análise, tomando-se a escala de abrangência a nível de uma bacia hidrográfica, a bacia hidrográfica do rio Jordão, sendo então objeto de estudo do presente trabalho.

Um pressuposto, aqui considerado, sobre a origem do uso e conceituação do termo fragilidade ambiental, pode estar expresso em estudos mais antigos, como algumas teorias que já previam a integração de vários elementos em análises integradas da paisagem como foi o caso da “Teoria dos Sistemas” e as propostas de trabalho utilizando-se “Geossistemas”, propõe-se então aqui que a fragilidade ambiental tenha iniciado a formar suas bases a partir de tais estudos.

## 2.2.2. Teoria dos Sistemas e Geossistemas

Abordados os conceitos sobre paisagem, a fim de se identificar os primeiros estudos em fragilidade ambiental e traçar um histórico para a temática, com levantamentos de obras e autores importantes e precursores na questão, a partir das análises realizadas por Rodrigues (2001) talvez seja possível estabelecer uma relação/comparação dos estudos atuais em fragilidade ambiental com as pioneiras teorias sobre “ecodinâmica da paisagem”, “teoria geral dos sistemas”, “ecologia da paisagem”, “geossistemas” e demais “teorias geossistêmicas”.

Autores como Tricart (1977) faziam uma abordagem ambiental, mas sob uma concepção ecológica, a partir da “Teoria dos Sistemas”, considerando a troca de matérias e energias na natureza, onde ambientes estáveis seriam aqueles em equilíbrio dinâmico e os ambientes instáveis aqueles em desequilíbrio.

Mais à frente, por volta da década de 90, Ross (1990) classificaria os mesmos ambientes, respectivamente, como “Unidades Ecodinâmicas Estáveis”, aquelas ainda intocadas pelo homem, ou seja, em seu estado natural (como uma floresta nativa) e, “Unidades Ecodinâmicas Instáveis”, aquelas alteradas intensamente por intervenções antrópicas diversas e, assim, definindo vários graus para esta intensidade. Nesta presente pesquisa, esses conceitos são considerados como os primórdios dos estudos em fragilidade ambiental.

A teoria dos sistemas também é abordada ainda hoje, como por Christopherson (2012), que sob uma visão da Geografia Física trata os sistemas destacando o fato de eles serem abertos (não são autocontidos com relação à entrada e saída de fluxo de energia e matéria, ex.: fotossíntese e respiração das plantas e, para outros autores, bacias hidrográficas) ou fechados (autocontido, isolado do ambiente circundante, raramente encontrados na natureza).

Por mais que os sistemas fechados sejam mais raros, um exemplo apontado por Christopherson (2012) seria basicamente a própria Terra (em termos de matéria física e recursos como ar, água e recursos naturais). É interessante a percepção do autor para o fato de que por esse motivo os esforços de reciclagem deveriam ser inevitáveis, para quem almeja uma economia global sustentável.

Os geossistemas vão além dos ecossistemas (conceito proposto por Tansley (1935)), por serem áreas relativamente homogêneas de organismos que interagem com seu ambiente específico, onde a comunidade dos seres vivos constitui o componente

principal que se interligam com elementos abióticos do habitat, numa escala menor do que seria uma paisagem.

Christofoletti (2012) afirma que os geossistemas também representam entidades de organização do meio ambiente. Designados como sistemas ambientais físicos, representam a organização espacial resultante da interação dos elementos físicos e biológicos da natureza (topografia, clima, águas, geologia, animais, solos, vegetação). Nesse contexto, para se avaliar a fragilidade ambiental de um ambiente é necessário que se considere esses elementos e outros que também se fizerem presentes e significativos, para um diagnóstico mais preciso da situação real em que se encontra determinada paisagem.

Assim, em estudos de fragilidade ambiental, entender tais conceitos e teorias é relevante para saber lidar melhor com os objetos de estudo, com as diversas variáveis que compõem uma paisagem e assim definir os melhores métodos a serem utilizados de acordo com as finalidades pretendidas.

### 2.2.3. Estudos em Fragilidade Ambiental

A fragilidade ambiental, ora confundida com vulnerabilidade ambiental, pode ser descrita, no viés aqui proposto, como um conjunto das vulnerabilidades de cada elemento componente de uma paisagem. Este elemento pode ser o solo, um curso d'água, o relevo em si, entre outros que possam apresentar altas vulnerabilidades ao ponto de comprometer a qualidade ambiental, implicando numa maior ou menor fragilidade desta paisagem.

Os graus de fragilidade vão variar de acordo com a interação e sobreposição de uma ou mais áreas e seus elementos ou variáveis que apresentarem alguma vulnerabilidade. Por exemplo, se o solo estiver exposto, sem cobertura vegetal, estará vulnerável à erosão entre outros riscos como maior suscetibilidade à poluição/contaminação, risco de movimentos de massa, risco de queda e desabamento de blocos rochosos, deslizamentos em encostas, o que pode ser acentuado pelas atividades antrópicas que forem negativamente impactantes e que, logo, aumentará o nível de fragilidade naquela área.

Os índices de fragilidade devem ser considerados e identificados minuciosamente para se pensar e se propor medidas de remediação, prevenção, para

evitar que os impactos negativos possam continuar e se agravar, fragilizando ainda mais o ambiente que se tornará instável por mais tempo. A fragilidade ambiental permite avaliar a situação atual do ambiente escolhido, como um diagnóstico, e identificar as potencialidades e vulnerabilidades existentes.

Identificando-se as áreas mais críticas, mais frágeis, é possível mitigar ou ao menos tentar amenizar algumas das vulnerabilidades locais existentes e buscar estabelecer um equilíbrio que seja mais próximo do ideal, ou seja, contribuir com a estabilidade e equilíbrio dinâmico natural da paisagem, a partir de propostas e diretrizes de conservação que forem necessárias e fiéis à garantir qualidade ambiental, qualidade de vida da população, a longo prazo.

A fragilidade ambiental tem sido tratada a partir da junção e análise de mais de um elemento componente da natureza, onde pesquisadores e demais profissionais (ROSS, 1994; SCHNEIDER, 2011; SPÖRL, 2004) costumam abordar parâmetros que envolvam a geologia, pedologia, declividade, uso e ocupação do solo, hidrologia e até fatores socioeconômico-culturais em alguns casos. Em outros casos, consideram também a climatologia, utilizando em sua maioria, dados mais relativos à precipitação, por exemplo.

De acordo com Ross (1994), a fragilidade ambiental de uma paisagem pode ser determinada, entre outras formas, por levantamento de uso e ocupação do solo, cálculos de índices de vegetação, de dissecação do relevo, precipitações, tipo de solo, declividade, altimetria, onde serão identificados os pontos frágeis, os elementos vulneráveis e as principais atividades que fornecem risco à saúde e segurança das pessoas e que ainda possam comprometer a disponibilidade dos recursos naturais, como a água. Segundo o referido autor, isso ocorre porque o ser humano passa a intervir de forma exploratória e predatória na natureza, alterando os ciclos naturais, devido ao desenvolvimento tecnológico, científico e econômico que não acompanha o desenvolvimento social e cultural da maior parte da população.

A fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. Os estudos relativos à fragilidade, expressos através de cartogramas e textos, são documentos de extrema importância ao Planejamento Ambiental, que tenha como centro de preocupação, o desenvolvimento sustentado, onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com desenvolvimento econômico e social. São e podem ser utilizados diferentes métodos

para se estudar, identificar, analisar e determinar a fragilidade ambiental em dada paisagem, em qualquer escala de abrangência (ROSS, 1994).

Atualmente, os estudos são realizados com comparação entre duas a três variáveis no máximo e podem ser realizados com uso de diferentes métodos. Alguns costumam tratar a fragilidade ambiental através de métodos como análise empírica, coletas de amostras em campo, fotointerpretação e processamento de imagens, mapeamento temático, modelagens ambientais e até tabulação cruzada, empregada em SIG, amplamente difundido para integração de variáveis nas Ciências da Terra (SILVEIRA, 2010; ROSS, 1994 e CREPANI et al., 2001).

O que vai influenciar e determinar a escolha do método a ser aplicado são os tipos e quantidades de classes de fragilidade com as quais se quer trabalhar, quais níveis de abordagem e de abrangência, em quais dimensões e quais as finalidades.

Apesar dos métodos existentes, como bem observa Spörl (2007), a fragilidade ambiental apresenta um desafio quanto a sua modelagem, justamente por ter que lidar com uma série de elementos e variáveis ao mesmo tempo, como explanado acima, e por, além de ter que compreender a relação dinâmica e intrínseca entre os componentes físicos, bióticos e socioeconômicos dos sistemas ambientais, busca traduzir esse conhecimento num modelo matemático.

Recentemente, surgem outras propostas de inovação, como foi realizado por Spörl (2007), que comparou três métodos, entre eles os dois modelos empíricos de fragilidade ambiental mais utilizados em planejamento físico-territorial no Brasil, proposto por Ross (1994), (a partir de Índices de Dissecação do Relevo e Classes de Declividade) e o de Crepani et al. (2001) (a partir de Unidades Territoriais Básicas), entre os quais testou a viabilidade e confiabilidade de uma nova ferramenta a ser aplicada como um terceiro método na elaboração de modelos de fragilidade ambiental, as Redes Neurais Artificiais. Nessa perspectiva a autora obteve bons resultados.

Em avaliação e comparação feita por Spörl (2007), dos modelos e métodos utilizados por Ross (1994) e Crepani et. al. (2001), foi possível observar que ambos possuem os elementos do meio físico como ponto comum, partem do princípio das Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977) para delimitar áreas no contexto dos diagnósticos ambientais; usaram praticamente as mesmas variáveis (índices de dissecação do relevo, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima) com exceção da variável “rochas”, a qual foi utilizada somente por Crepani et al. (2001), porém os métodos e pesos atribuídos a cada uma das variáveis foram diferentes.



De acordo com Schineider (2011), os níveis de fragilidades estão associados à ecodinâmica à qual os espaços se submetem, assim, leva sempre em consideração a inter-relação das variáveis físicas já citadas anteriormente. No entanto, a avaliação da fragilidade ambiental geralmente se faz subjetiva e arbitrária, pois é difícil avaliar qual o grau de vulnerabilidade com que cada uma das variáveis contribui para se estabelecer o nível de fragilidade, devido ao desconhecimento da relação entre as variáveis que gera incertezas (SPÖRL, 2007). Por isso existe a necessidade de busca por métodos mais objetivos que deem conta de sanar tais problemas e ajustar modelos para sistemas complexos como é a natureza.

Um outro problema, não menos importante, neste tipo de estudo, é a disponibilização/coleta de dados/informações ambientais de uma área, por exigir, sobretudo, trabalhos de campo intensos para reconhecimento, coletas de amostras, identificação de feições e elementos diversos, seleção de variáveis, entre outros levantamentos, que tornam o trabalho demorado e oneroso. Exige ainda técnicas específicas da Cartografia e considerando o seu uso e análise com auxílio dos SIGs, o estudo vai demandar ainda imagens com boas resoluções e bases cartográficas com boas escalas (a variar de acordo com o tamanho da área e com qual a escala se pretende e deseja trabalhar).

Nesse contexto, além das variáveis já testadas em métodos distintos, como climatologia, hidrologia, geomorfologia, pedologia, geologia, uso e ocupação do solo, indicadores e índices socioeconômicos, ambientais e urbanos, entende-se que o incremento de variáveis como as distâncias de fraturas e de áreas urbanas, bem como a temperatura superficial, é importante para análise da fragilidade em uma bacia hidrográfica.

Nesse estudo, é proposto a adição dessas novas variáveis e o uso de Redes Neurais Artificiais para o processamento e classificação do conjunto de variáveis da bacia hidrográfica do rio Jordão/MG em segmentos de fragilidade ambiental, a qual seguirá como parâmetros principais o grau de erodibilidade/movimentos de massa quanto exposto às águas pluviais para a variável solo; os graus de proteção dados ao solo pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais com relação a variável uso e ocupação do solo e quanto a susceptibilidade à erosão e deslizamentos com relação a variável geologia. As demais variáveis ficarão submetidas à análise realizada pela própria RNA.

Na busca por modelos mais precisos, menos onerosos e mais rápidos, um primeiro passo, para contribuir com boas análises em fragilidade ambiental, é delimitar a área de estudo. A bacia hidrográfica, como já abordada anteriormente, assim como é considerada em vários estudos e Leis, como a melhor opção de gestão dos recursos hídricos e uso para estudos ambientais, também o é para estudos em fragilidade ambiental.

### 2.3. BACIAS HIDROGRÁFICAS E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Ao longo da história, os rios têm facilitado o crescimento de aglomerados urbanos e áreas cultivadas e têm sido utilizados como vias de penetração para o interior, uma vez que a água é um recurso fundamental para a sobrevivência humana (CUNHA e COELHO 2007). Nosso próprio corpo é constituído, biologicamente falando, por aproximadamente 70% de água, portanto, não só garante a vida, devendo ser consumida todos os dias, como é o elemento predominante na constituição física, química e biológica de diferentes tipos de células dos seres vivos.

A água é sinônimo de vida e desenvolvimento. Sua presença, em quantidade adequada, pavimentou o progresso das grandes civilizações. Sua carência, entretanto, foi e será, cada vez mais, motivo de conflito (VARELLA, 2012).

No Brasil, antes tomado como um elemento abundante e praticamente uma fonte inesgotável, hoje já se tornou motivo de conflitos, pois, ainda que abundante, é um elemento esgotável (considerando sua disponibilidade no estado líquido e em reservatórios de água doce) e dotado de valores. Conforme informações da ANA (2010, p. 29), o Brasil é um dos países mais ricos em recursos hídricos superficiais do planeta, com vazões médias que totalizam quase 180 mil m<sup>3</sup>/s, porém, como bem analisa Shimizu (2012), pelo senso geral da população, a água ainda é considerada um recurso abundante, e é, de certa maneira, olhando apenas para a sua disponibilidade, em termos mundiais, mas é muito mal distribuída em países como no Brasil, que possui cerca de 14% da água doce superficial do Planeta.

Como exemplo, a Bacia Amazônica, onde a densidade populacional é de cerca de 2,3 hab/km<sup>2</sup>, apresenta uma disponibilidade hídrica de 73.750m<sup>3</sup>/s, ao passo que, na Região Hidrográfica do Paraná, a mais populosa dentre as doze Regiões do país, a disponibilidade hídrica é de 5.800m<sup>3</sup>/s para uma densidade de 69,3 hab/km<sup>2</sup>. Esse

desequilíbrio acaba sendo responsável então pelos conflitos do uso da água (SHIMIZU, 2012).

A água é também o elemento essencial que dimensiona a extensão e delimita a área de abrangência de uma bacia hidrográfica a partir de um curso de água principal e seus afluentes. Como unidade a ser definida em diversos estudos ambientais, incluindo-se os de fragilidade ambiental e análise integrada da paisagem, uma boa proposição é que se tome como área de estudo as bacias hidrográficas, pois, quando bem limitadas e definidas, conferem mais segurança e delimitação no desenvolvimento dos estudos e se torna mais praticável e possível a gestão integrada dos recursos hídricos.

Uma bacia hidrográfica, de acordo com Cunha e Coelho (2007), consiste em um recorte espacial/territorial que inclui não apenas os rios, afluentes e reservatórios subterrâneos, mas, também, outros elementos da paisagem física e social. É composta e delimitada então pelos divisores de água, que se tratando da topografia do relevo seriam os pontos mais altos da superfície, de onde as águas escoam até os pontos mais baixos, as partes mais profundas, chegando ao leito do rio principal através de suas confluências por córregos, riachos, ribeirões, etc. Dessa maneira, as águas vão escavando vales, esculpindo formas do relevo e modelando as paisagens.

Uma bacia hidrográfica pode ainda ser definida pela área de drenagem de um rio principal e de seus tributários, sendo compostas de subsistemas (microbacias) e de diferentes ecossistemas (várzea, terra firme). Seus limites territoriais ou de seus subsistemas, nem sempre coincidem com as delimitações político-administrativas, de modo que uma mesma bacia pode ser compartilhada por diferentes países, estados ou municípios, criando complicadores para a gestão ambiental (CUNHA e COELHO, 2007).

Algumas Leis ambientais são especificamente voltadas aos recursos hídricos, à sua gestão e tratam sobre a bacia hidrográfica em si, como a Lei 9.433/97, a nível nacional, e a Lei 11.504/94, a nível estadual (Minas Gerais), que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Vale destacar ainda a existência de órgãos, organizações, instituições, entre outros responsáveis e voltados a estudar e discutir as questões ligadas a água e a gestão dos recursos hídricos como a ANA.

A Lei 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), se baseia em fundamentos onde, entre outros, toma a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos

e atuação do SINGREH. O Brasil passa, hoje, por um processo de consolidação do SINGREH, uma grande virtude deste sistema é a dimensão dada à participação pública no processo de tomada de decisão (BRAGA, 2012).

A lei preza pela gestão participativa e integrada, descentralizada e compartilhada entre os usuários de nossas bacias hidrográficas, porém o mesmo não é efetivado, a começar pelo papel dos próprios CBHs que muitas vezes não cumprem suas funções, vários dos comitês implantados no país não possuem sequer um plano de recursos hídricos (SHIMIZU, 2012). Entre outros instrumentos de gestão estruturados, soma-se a deficiência nos dados e estudos técnicos na área com a ausência de profissionais capacitados. Assim, se tratando de planejamento e gestão ambiental, a bacia hidrográfica consiste no melhor limite territorial e do espaço a ser considerada para se implantar a gestão dos recursos hídricos.

O instrumento que orienta o poder público e a sociedade na utilização e monitoramento dos recursos ambientais (naturais, econômicos e socioculturais) a longo prazo, na área de abrangência de uma bacia hidrográfica, de forma a promover o desenvolvimento sustentável, é o Gerenciamento de Bacia Hidrográfica (LANA, 1995 apud ALMEIDA et al., 2008). Outro instrumento de gestão da política nacional e estadual de recursos hídricos é a outorga de direito de uso da água, pois objetiva assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (SOUZA, 2012).

No Brasil pode-se afirmar que os recursos hídricos são “administrados” pelos chamados Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), sua criação e funcionamento são estabelecidos pelo Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, criado pela Lei 9.433 e regulado pelo Decreto 2.612, de 1998.

Os comitês de bacia hidrográfica, verdadeiros “parlamentos” das águas, têm, na sua estrutura organizacional, entre outros, o governo federal, os governos estaduais e municipais, os setores usuários de água, as organizações não governamentais e os membros da academia (BRAGA, 2012).

Sendo, portanto, definidos como fórum de decisão no âmbito de cada bacia hidrográfica. São formados por representantes dos usuários dos recursos hídricos, da sociedade civil organizada e dos três níveis de governo. Estabeleceu-se, ainda, a criação de agências de água, com o papel de controlar os conflitos, repartir responsabilidades, e apoiar um ou mais comitês de bacia, as quais deverão ainda realizar estudos necessários

para a gestão dos recursos hídricos, entre outros objetivos (BRISMAR, 2002 e CUNHA e COELHO, 2007).

Para que isso ocorra, membros de órgãos citados, com caráter deliberativo, comunidade da bacia, entre outros, precisam ter noções claras sobre a gestão dos recursos hídricos, que segundo Braga (2012), significa promover o uso adequado da água para o bem-estar da sociedade e a conservação da qualidade dos ecossistemas no âmbito da bacia hidrográfica. Isso implica em um balanço entre disponibilidade e demanda hídrica por meio do uso de medidas estruturais (barragens, reservatórios, canais, diques e outros) e medidas não estruturais (Leis, Regulamentos, instituições, governança e outros).

Adotando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a gestão ambiental deve ser efetivada através de um processo do qual participem diferentes instâncias do planejamento, seja do ponto de vista político-administrativo (federal, estadual e municipal), setorial (educação, energia, agricultura, transporte, etc.), dos recursos naturais (água, solo, ar, fauna, flora etc.) e espacial (das grandes unidades de intervenção em bacias às pequenas unidades - microbacias) (ALMEIDA et al., 2008).

Sendo assim, uma bacia hidrográfica possui vários elementos além da água, sujeitos a interferência antrópica, os quais são passíveis de estudo para proposição de um manejo adequado e por isso devem ser levantados e estudados. Bacias hidrográficas que englobam municípios de regiões metropolitanas, cidades médias ou pequenas, obviamente, respeitando-se a carga do impacto, revelam um amplo espectro de problemas relacionados à degradação das águas e sedimentos dos rios (ROSOLEN, 2012).

Os rios são afetados de diversas formas pelos vários tipos de uso do solo numa bacia, seja por fontes pontuais ou difusas (estas, mais difíceis de serem monitoradas e controladas), tendo suas características originais alteradas.

Os rios são um meio de diluição de poluentes e de deposição de águas residuárias e efluentes (residenciais, industriais e/ou comerciais), os quais possuem vários tipos de substâncias, resíduos e componentes diferentes, como elementos orgânicos, incluindo-se aí nitrogênio e fósforo, sedimentos, contaminantes, elementos químicos inorgânicos, como os metais pesados, que são transportados por escoamento superficial ou subterrâneo (no caso de sua infiltração no solo), de áreas urbanas e/ou zonas rurais (a partir do desmatamento, erosão do solo, agricultura, etc.), como exposto na obra de Di Mauro et al. (2012) e Cunha e Guerra (2007), das partes mais elevadas da

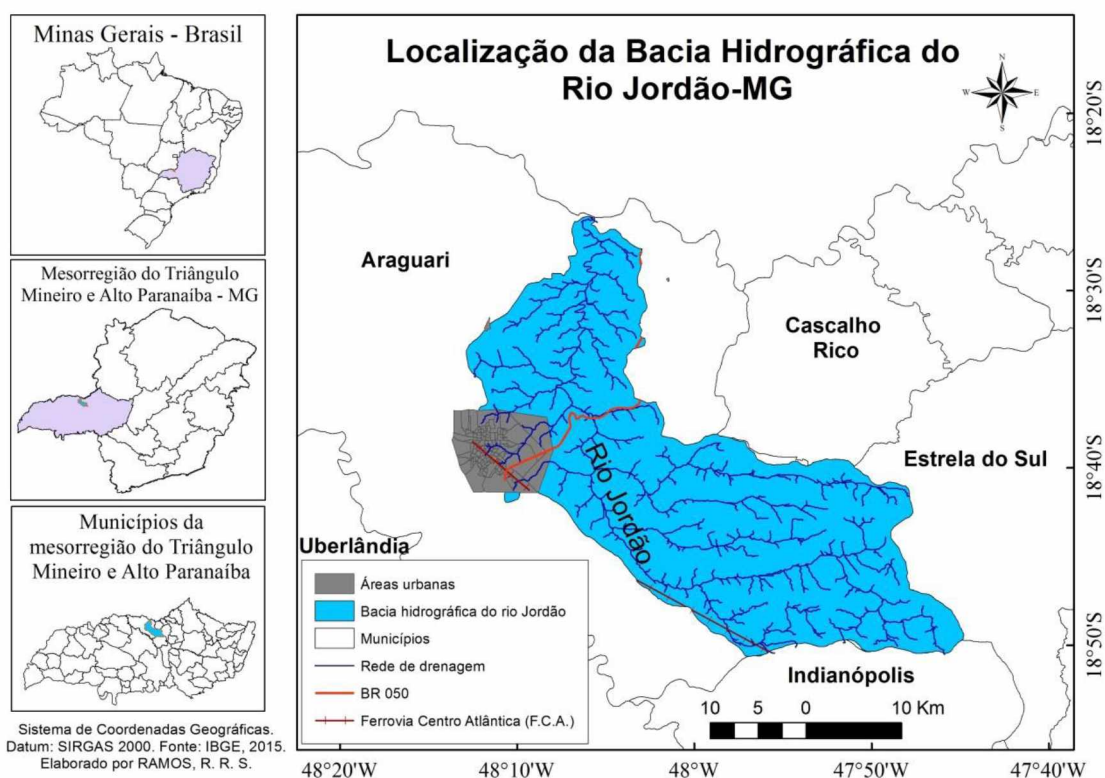
bacia para as mais profundas, atingindo o leito principal do rio se depositando em suas margens ou no fundo, ou sendo carreados até sua foz e aí atingindo todo um sistema fluvial de maneira mais concentrada, partindo para outros corpos hídricos como mar e oceano.

Conforme Rosolen (2012), as condições hidrodinâmicas de muitos rios foram diretamente afetadas pela construção de barragens e hidrelétricas e, indiretamente, pela conversão de uso das terras, que envolve o desmatamento, a agricultura e a urbanização. Sendo assim, a área escolhida e delimitada para se desenvolver o presente trabalho foi a bacia hidrográfica do rio Jordão a qual possui um cenário interessante e merecedor de pesquisas conforme justificativas já apresentadas.

### 2.3.1. Bacia Hidrográfica do Rio Jordão - BHRJ

A bacia hidrográfica do rio Jordão está localizada entre as coordenadas 18°25'47.38"S e 48° 5'59.67"O ao norte da bacia; 18°50'38.17"S e 47°56'55.78"O ao sul da bacia; 18°49'21.04"S e 47°44'48.40"O a leste da bacia e 18°39'20.16"S e 48°12'54.96"O a oeste da bacia, englobando dois fusos (22k e 23k) e inserida, quase que integralmente, dentro do limite municipal de Araguari-MG, com uma área total de 94,195 Km<sup>2</sup>. Abrange ainda pequenas porções dos municípios de Cascalho Rico, Estrela do Sul e Indianópolis conforme Figura 3.

**Figura 3.** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão.



FONTE: AUTOR, 2015.

Encontra-se, portanto, totalmente no estado de Minas Gerais, com sua foz no rio Paranaíba - rio de domínio da União - o qual limita o estado de Minas Gerais com o estado de Goiás. Corresponde então a uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Ambas se inserem numa terceira e maior bacia hidrográfica, a do Paraná, que possui importância significativa na rede hidrográfica do Brasil.

A bacia do rio Paranaíba corresponde a segunda maior unidade da Região Hidrográfica do Paraná e se localiza na região central do país com uma área de drenagem de 222,6 mil km<sup>2</sup>. Entre seus afluentes estão o rio São Marcos, Corumbá, Araguari e rio Jordão. Esses afluentes possuem empreendimentos como usinas hidrelétricas de dimensões e usos significativos, como a exemplo da Usina Hidrelétrica de Emborcação, de São Simão, Amador Aguiar I e II (antigas Capim Branco I e II) e Piçarrão, que provam o alto potencial hidroelétrico da região, devido às várias quedas d'água existentes, volume e vazão de rios, como no caso do rio Jordão, cujas consequências podem levar também a um impacto socioeconômico.

A hidrografia da BHRJ compreende predominantemente o tipo de rede de drenagem dendrítica, com áreas mais planas a suavemente onduladas e pouco

dissecadas mais a montante, onde as altitudes são maiores e mais semelhantes, podendo equiparar a uma rede de drenagem paralela, ao passo que sua porção a jusante é bem dissecada, aumentando-se a rede de drenagem quanto mais próximo a sua foz, com menores altitudes e grandes variações altimétricas o que implica numa área bem inclinada com fortes ondulações e vertentes íngremes de altas declividades.

Porções da BHRJ como o distrito de Dolearina (pertencente ao município de Estrela do Sul) fazem parte do extremo nordeste da denominada bacia vulcano-sedimentar do Paraná, zona de contato com o substrato de rochas granitóides gnaíssificadas em intensidades diversas e que se constituem no embasamento regional, segundo Oliveira (s/a). A morfologia para o autor também reflete esta transição geológica. Um grande alinhamento de direção aproximada N 40 W passando pelo distrito, divide o relevo. A leste existem granitóides, com relevo acidentado e drenagem dendrítica, e a oeste existem altiplano contendo sedimentos do grupo Bauru.

Os sedimentos do grupo Bauru, formação Marília, são constituídos, segundo a literatura geológica, por arenitos e conglomerados calcíferos no topo e na base por calcários lacustrinos e calcretes, há presença de arenitos finos, laterizados e friáveis com possível cimento calcífero, tendo na base uma fina camada de conglomerado polimítico (OLIVEIRA, s/a.)

Outras características como clima (temperatura e precipitação), geomorfologia (declividades, altimetrias/hipsometria, curvaturas e sombreamentos), geologia (no que diz respeito as unidades geológicas, litotipos, fraturas), solos, uso e ocupação do solo e distância de áreas urbanas, entre outras informações relevantes da bacia, também foram levantadas e consideradas como variáveis a se analisar a fragilidade ambiental da BHRJ, conforme materiais e métodos descritos mais adiante no item 3.

Consistindo as bacias hidrográficas em sistemas ambientais complexos e tratando-as aqui como paisagens específicas, é relevante considerar em fragilidade ambiental, o exposto por Bertrand (2004), onde, a paisagem demanda um inventário geográfico completo e relativamente detalhado, onde o essencial do trabalho se efetua no terreno com levantamentos de informações temáticas diversas (dados pedológicos e fitogeográficos, geomorfológicos, meteorológicos, etc.), que se completam por trabalhos de arquivos. Destaca-se o uso de técnicas específicas condizentes com a cartografia e com as geoinformações.

As informações ambientais em bacias hidrográficas são melhores estudadas, monitoradas e geridas, com o apoio de técnicas de sensoriamento remoto e



processamento digital de imagens, bem como a da cartografia. O sensoriamento remoto é uma ferramenta de custo relativamente baixo, facilita a análise e os estudos tanto em áreas menores como em áreas mais extensas, reduzindo nesse caso também o tempo de análise.

Os “mapas temáticos”, elaborados por técnicas de cartografia e obtidos a partir de produtos primários, cartas e demais bases de bancos de dados específicos, juntamente com o processamento digital de imagens, podem possibilitar análises importantes para o planejamento e gestão ambiental de uma bacia hidrográfica.

#### 2.4. CARTOGRAFIA E GEOINFORMAÇÃO

Desde os primórdios da existência do homem, os desenhos ou estruturas apresentavam uma forma original de interpretação acerca de seus territórios ou domínios, para os quais se utilizavam materiais e métodos disponíveis, artefatos simples, naturais de seu cotidiano, como argila, pedra, pele de animais. Isso era um meio de armazenar conhecimentos sobre a superfície terrestre e racionalizar o uso do espaço geográfico envolvente, portanto eram documentos rudimentares (MARTINELLI, 2005; DUARTE, 2002).

Da Associação Cartográfica Internacional tem-se a seguinte definição sobre Cartografia, é o “conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de cartas, planos e outras formas de expressão, bem como sua utilização”, assim, a organização do espaço é mostrada por meio de mapas, que resultam de uma série de operações que fazem parte da Cartografia, que sendo ou não arte ou ciência, o fato é que é relevante para a sociedade no geral, visto o amplo uso pela população dos produtos cartográficos (DUARTE, 2002).

A progressiva especialização e diversificação na Cartografia científica culminaram na definição da cartografia temática, que é, portanto, historicamente sucessiva à visão topográfica do mundo, essencialmente analógica, ao passo que a Cartografia sistemática ou topográfica tradicional trata de um produto cartográfico de forma geométrica e descritiva. A Cartografia temática apresenta uma solução analítica ou explicativa (MARTINELLI, 2005; FITZ, 2008).

Os mapas temáticos geralmente possuem como característica um tema principal a ser representado que pode ser, por exemplo: geologia, pedologia, divisão regional, política, entre outros, os quais, segundo Fitz (2008), geralmente utilizam outros mapas e produtos primários como base para sua elaboração. Já os objetos identificados a partir de uma classificação de imagem, como uso e ocupação do solo, hipsometria, sombreamento, entre outros, são nomeados de carta imagem.

Outro tipo de abordagem importante dada à Cartografia pode ser conferida nos trabalhos de Santil (2008, 2009, 2011 e 2012) e Andrade (2010), onde o autor discorre e apresenta experiências e práticas na área da Cartografia tátil e Cartografia cognitiva, destacando principalmente nossa cognição visual na interpretação dos símbolos e elementos presentes nos mapas fortalecendo assim a importância da semiologia gráfica. Também seguindo esse viés e abordando a visualização em cartografia tem-se o trabalho de Ramos (2005).

Com os trabalhos citados temos comprovado o quão se faz importante, senão fundamental, não só os elementos gráficos, símbolos, figuras, formas, linhas, tamanhos, mas também as cores, para a Cartografia, sendo necessária a atenção, o cuidado e critérios adotados quando de sua utilização para confecção de mapas, mapas temáticos, cartas e/ou carta imagens. Por exemplo, na representação de um fenômeno contínuo ou discreto deve-se observar a relação de cores, tonalidade, intensidade, profundidade, etc., a ser usada em sua representação, para descrever o seu comportamento.

Para Ramos (2015), a visualização cartográfica surgiu como uma forma de integrar os recursos da cartografia digital e o poder analítico dos sistemas de informação geográfica a banco de dados espaciais e não espaciais, utilizando recursos multimídia em ambiente interativo. A Cartografia está em pleno processo de transformação e, o debate no campo da visualização cartográfica está em plena ebulição (RAMOS, 2015).

Aprimorando-se as representações cartográficas e sofisticando-se as técnicas em cartografia é que surge a chamada Geoinformação. Trabalhar com Geoinformação significa utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas (CÂMARA e MONTEIRO, 2001).

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é composto por redes de altimetria (referencial vinculado ao geoide), gravimetria (seu referencial está vinculado às várias estações distribuídas em território nacional) e planimetria (orienta a definição da superfície, origem e orientação do sistema de coordenadas usado para mapeamento e

georreferenciamento no território brasileiro) (FITZ, 2008), hoje representado pelo SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), tomado como padrão a ser utilizado legalmente no Brasil, desde 2015.

O SIRGAS foi concebido em função das necessidades de adoção de um sistema de referência compatível com as técnicas de posicionamento global, dadas por sistemas dessa natureza, como o GPS (Global Positioning System) (FITZ, 2008). Outro sistema de referência muito utilizado, inclusive pelo GPS, é o WGS84 (World Geodetic System). Esse sistema é global/geocêntrico, similar ao SIRGAS. Maiores informações sobre esses dois sistemas podem ser encontradas em Monico (2008).

Pesquisas na área ambiental podem ser desenvolvidas com auxílio de vários instrumentos e ferramentas de trabalho, hoje em dia, aprimorados com o uso de tecnologias mais sofisticadas e, principalmente, com o uso das chamadas geotecnologias, que consideram a coleta (coordenadas, imagens, tabelas, etc.), tratamento, processamento e cadastro dos dados espaciais. As geotecnologias inclui ainda o pacote de softwares específicos, como aqueles usados no processamento digital de imagens, que objetivam a identificação de feições/temas para geração dos mapas temáticos entre outras funções. Somado a isso, a geotecnologia requer cuidado e atenção com os sistemas de referências espaciais (BERNHARDSEN, 1999; D'ALGE, 2001). Um dos instrumentos mais importantes da geotecnologia é o sensoriamento remoto e as técnicas de processamento digital de imagens.

#### 2.4.1. Sensoriamento Remoto

A partir do momento onde a necessidade de se monitorar locais à distância, sem que se fosse percebido, como nos casos militares, para visualizar e identificar elementos, lugares, porções e feições estratégicas do terreno, sem que fosse preciso o contato físico com os mesmos, começa-se a busca pelo que seria o sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto começou a ser usado no Brasil por volta da década de 60, no projeto RADAMBRASIL, mas já surge como uma nova técnica de análise de imagens, somando às técnicas usadas no uso de fotografia aéreas, como feito na Fotogrametria. O sensoriamento remoto consiste em uma técnica que permite adquirir informações e dados de um objeto qualquer a partir da radiação eletromagnética emitida

e/ou refletida por ele, e desde que o mesmo tenha temperatura maior que 0° Kelvin, podendo ser por uma fonte de radiação natural como o sol ou, artificial, como um radar. Trata-se de um sistema composto por sensores, acoplados em satélites artificiais, os quais são responsáveis por absorver essa energia emitida pelo objeto alvo e transmiti-la em forma de dados que serão registrados (AMSAT, 2015). O sensor pode ser definido, de acordo com manual técnico do IBGE (2001), como um equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal que possa ser convertido, posteriormente, em informação sobre o objeto sensoriado.

O sensoriamento remoto tem avançado muito de seu surgimento até hoje, em questões relativas, por exemplo, ao aumento e, conseqüente melhora, de suas resoluções, sejam estas espaciais (indo de metros à centímetros), espectrais ou radiométricas, entre outras características (ROSA, 2009). A resolução, segundo INPE (2010), é uma medida de habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente, ou próximas espacialmente, e pode ser classificada em espacial, espectral, radiométrica e temporal, cada uma com sua definição.

A possibilidade de coleta de dados altimétricos também representa uma inovação tecnológica ocorrida no sensoriamento remoto, o que permite estudos mais detalhados sobre feições da superfície terrestre e acabou por proporcionar desafios aos pesquisadores nesta área como as técnicas emergentes em detecção e extração de feições e classificação (SILVA, 2008).

Assim, para tratar de questões ambientais, o uso do sensoriamento remoto se faz hoje um instrumento fundamental, que acrescenta e complementa os estudos nesta perspectiva, em variadas escalas, a partir da obtenção e registro de dados provenientes de elementos naturais ou antrópicos em uma paisagem, sem ser preciso ter um contato físico com os mesmos.

Um exemplo de conjunto de sensores acoplados em satélites artificiais é a série americana Landsat. Como outros satélites artificiais, os produtos dos satélites do sistema Landsat têm sido utilizados no monitoramento do meio ambiente para estudos dos recursos terrestres como nos levantamentos, mapeamentos e análises diversas.

Outras formas de geração de dados em sensoriamento remoto podem se dar via fotogrametria, radar e laser scanner. A Fotogrametria coleta também imagens, mas com sensores acoplados em aviões, e o radar e laser scanner têm a particularidade de coletar dados altimétricos do relevo (KERSTING, 2004). O conjunto de dados radar mais

utilizados em pesquisas, apesar de existirem outros como o dado ASTER (utilizado no presente estudo) são os da Missão Topográfica Radar Shuttle, mais conhecida pela sigla SRTM (abreviação do nome em inglês *Shuttle Radar Topography Mission*), um projeto comum entre a NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) e a NASA, cujo objetivo é produzir dados altimétricos topográficos digitais que resultarão em cartas e mapas topográficos mais precisos e completos.

Vale ressaltar que, embora o sensoriamento remoto ainda não seja considerado no texto da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº6.938/81), seu uso já se faz presente em vários órgãos ambientais importantes, sejam nacionais como o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), órgão executor do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente), através da criação do Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) que vem desenvolvendo projetos (entre outros, os de monitoramentos e mapeamentos costeiros) e atividades diversas importantes para a preservação e conservação ambiental, como até mesmo internacionais, a exemplo da Sociedade de Especialistas Latino-americanos em Sensoriamento Remoto (SELPER).

Até mesmo o Banco Central do Brasil, por meio de sua resolução nº 4.427/15, autoriza a utilização do sensoriamento remoto para fins de fiscalização de operações de crédito rural e determina o registro das coordenadas geodésicas do empreendimento financiado por operações de crédito rural no Sistema de Operações do Crédito Rural e do Proagro (Sicor).

Existem várias formas de estudar, analisar e tratar os dados de sensoriamento remoto, geralmente por meio de algum tratamento/processamento das informações/imagens. Uma forma mais direta é usando as técnicas de processamento digital de imagens, entre elas, por exemplo, a classificação, segmentação e cálculos de índices.

#### 2.4.2. Processamento Digital de Imagem - PDI

Imagens digitais podem ser obtidas por satélites, aviões ou "scanners" e representam formas de captura indireta de informação espacial que são armazenadas como matrizes onde cada elemento de imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (CURRAN, 1988; CÂMARA e MONTEIRO, 2001).

Uma forma de resgatar informações a partir das imagens digitais é por meio de técnicas de processamento digital de imagens, que requerem o uso de softwares e/ou rotinas específicos que permitam a extração de informações acerca dos objetos existentes em imagens digitais.

A partir dessas premissas, é possível preparar e organizar um banco de dados com informações de uso e ocupação do solo em uma dada região, como em uma bacia hidrográfica, entre outras informações visuais.

As técnicas de processamento de imagens digitais consistem em operações ou transformações numéricas aplicadas nas imagens, as quais exigem um conhecimento mínimo para que não se corra o risco de perda de informação e erros de análise e interpretação dos dados. As técnicas podem ser agrupadas em três grupos: pré-processamento (tratamento preliminar dos dados brutos), realce de imagens (para melhorar a qualidade visual) e extração de feições, segmentação e classificação de imagens (FLORENZANO, 2008).

Uma das técnicas de processamento digital de imagens que merece destaque é a geração de índices de vegetação, cujo uso é acentuado em diversas pesquisas, entre os índices o mais comum e utilizado é o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index ou Índice Normalizado de Diferença de Vegetação), que permite obter e analisar regiões com acentuada presença de vegetação.

Outras técnicas são as de segmentação e de classificação de imagens. A segmentação de imagens consiste em dividir a imagem em regiões homogêneas, ou seja, separar os atributos espectrais da imagem em regiões homogêneas, ou seja, unir os pixels que possuem características semelhantes (MOREIRA, 2003). É uma técnica anterior à classificação e pode ser tratada de duas formas: pixel-a-pixel e orientada a objetos.

A segmentação pixel-a-pixel utiliza apenas informações espectrais de cada pixel para localizar regiões homogêneas, podendo utilizar ou não a estatística. Outra forma de segmentação é com base no objeto, onde a análise é realizada sobre os objetos presentes na imagem e não apenas nos pixels, levando em conta informações complementares como espacial, espectral, de textura e de forma (ANDRADE, 2016; FERNANDES et al., 2012; MARUJO, 2013; ROVEDDER, 2007).

A classificação é uma análise digital realizada ponto a ponto (pixel), o que considera basicamente os atributos espectrais, ou seja, é considerada a intensidade dos

níveis de cinza em diferentes bandas do espectro. Esse padrão, portanto, também passa vir a ser um fator limitante (ERTHAL et al., 1991, apud ANDRADE, 2016).

Como citado por Andrade (2016), um dos métodos de classificação é o da Máxima Verossimilhança (MaxVer), tradicionalmente usado em trabalhos com imagens de sensoriamento remoto. Hoje em dia vem sendo utilizado também o método das Redes Neurais Artificiais, que tem mostrado resultados satisfatórios, como apresentado por Queiroz et al. (2004) Ribeiro et al. (2007) e Ribeiro e Centeno (2001).

## 2.5. REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS - RNAs

A fim de se avaliar um sistema complexo, ou seja, que possui muitos elementos ou componentes que se inter-relacionam, onde é necessário considerar uma série de variáveis e análises para se chegar a um resultado final definido, é interessante fazer uso de instrumentos, ferramentas e métodos específicos, mais sofisticados, que confirmam mais agilidade, menor custo, porém, ao mesmo tempo, precisão nos resultados.

Nesta perspectiva é que, a partir do avanço da pesquisa e tecnologia no campo das ciências, principalmente computacionais, a descoberta e desenvolvimento do que hoje se conhece como Inteligência Artificial permitiu a elaboração de modelos, sistemas e métodos de análise mais complexos, de maneira com que se aproximasse da forma com que a mente humana trabalha.

Uma ferramenta de análise de sistemas complexos que tem surtido bons resultados, por isso tomada como modelo a ser utilizado no presente trabalho, é a Rede Neural ou Redes Neurais Artificiais - RNA. Como o próprio nome diz, Redes Neurais Artificiais são redes que tentam simular e representar os neurônios do cérebro humano, bem como o seu funcionamento, portanto, de maneira artificial/computacional.

A RNA utiliza de um sistema computacional que funcione basicamente como o cérebro humano funcionaria diante de determinada situação, onde modelos e funções matemáticas buscam imitar o funcionamento do cérebro, mostrando-se com um bom desempenho como ferramenta de regressão, especialmente devido a sua capacidade de aprendizado e generalização, buscando resultados e soluções mais precisos para os problemas mais complexos (BISHOP, 1995; BRAGA et al. 2000, DESAI, 1996).

Algumas das atividades cognitivas que as redes tentam reproduzir de forma artificial é a capacidade de memorização e assimilação de objetos e feições diferentes

no meio ambiente, advinda de um sistema complexo do homem que é o sistema nervoso.

Enfim, a computação neural é uma forma de computação não algorítmica, não é baseada em regras ou programas, surgindo como uma alternativa à computação algorítmica convencional. Seus resultados superam então os modelos convencionais. Como uma ferramenta computacional, poderosa e ativa, o sistema de RNA possui a capacidade de auto-organização, de processamento temporal e de aprender (treinamento) através de exemplos, extraindo informações não apresentadas e depois generalizar a informação aprendida dando respostas coerentes para dados não conhecidos, portanto, possui a capacidade de solucionar problemas complexos (BRAGA et al., 2000).

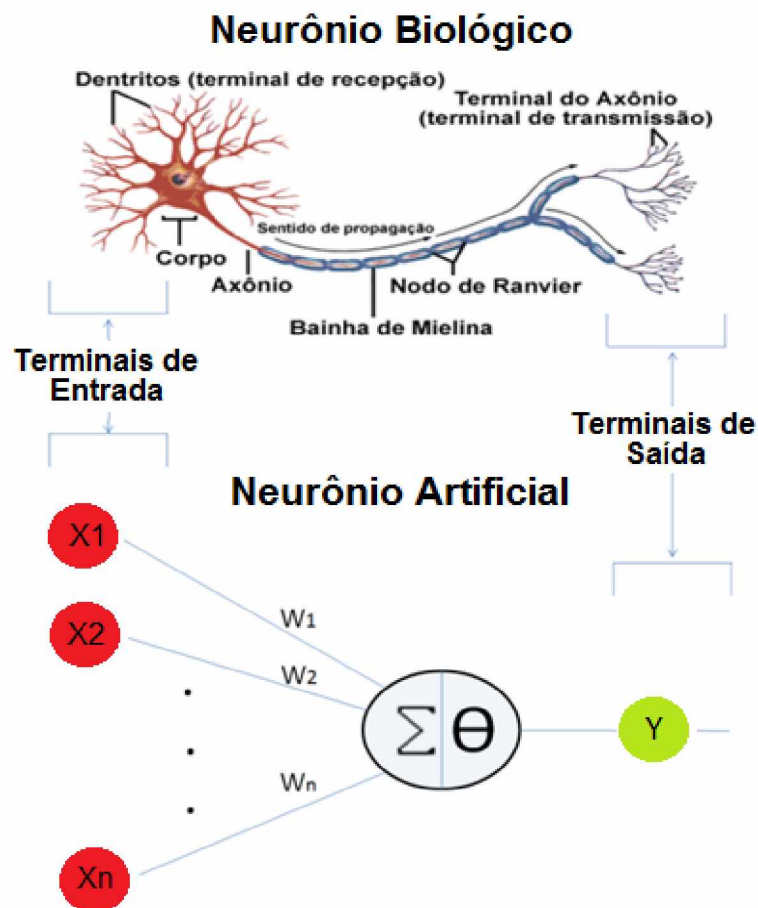
A RNA é executada em etapas, sendo a primeira, a fase de aprendizagem, onde um conjunto de exemplos é apresentado para a rede, a qual extrai automaticamente as características necessárias para representar a informação fornecida.

A aprendizagem é o processo pelo qual os parâmetros de uma rede neural são ajustados através de uma forma continuada de estímulo pelo ambiente no qual a rede está operando, sendo o tipo específico de aprendizagem realizada, definido pela maneira particular, como ocorrem os ajustes realizados nos parâmetros. O procedimento de aprendizagem tem por função modificar os pesos sinápticos da rede (método tradicional) de uma forma ordenada para alcançar um objetivo de projeto desejado (HAYKYN, 1999; BRAGA et al., 2000).

A RNA é também conhecida como neurocomputador ou redes conexionistas de processamento simples (nodos), que calculam determinadas funções matemáticas (normalmente não lineares). Tais conexões, na maioria dos modelos, estão associadas a pesos os quais armazenam o conhecimento representado no modelo e servem para ponderar a entrada recebida por cada nodo/neurônio da rede, numa estrutura aproximadamente igual ao que seria o cérebro humano. Um neurônio é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para a operação de uma RNA, bem como um neurônio biológico real o é para nosso sistema nervoso cerebral (HAYKIN, 1999). A Figura 4 representa um neurônio biológico (acima), com seus componentes, e um correspondente neurônio artificial de McCulloch e Pitts (abaixo), precursores dos estudos em RNA.

**Figura 4.** Representação de um neurônio biológico e um artificial.





FONTE: Adaptado AUTOR (2015).

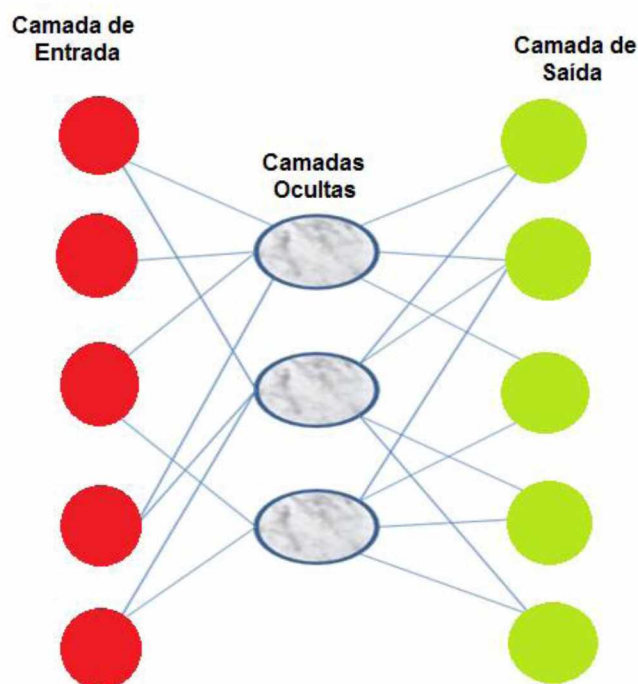
Um modelo matemático de um neurônio pode ser representado pela Equação 1, seguindo-se o modelo de McCulloch e Pitts , utilizado por Haykin (1999).

$$\vartheta_k = \sum_{j=1}^m \omega_{kj}x_j + b_k \quad (1)$$

Onde  $x_j$  representam as informações de entrada no neurônio;  $w_{kj}$  são os pesos atribuídos a essa informação;  $m$  é o total de neurônios;  $b_k$  é o erro correspondente à informação  $k$ ; e  $\vartheta_k$  é a saída/resposta do neurônio.

O esquema mostrado na Figura 5 exemplifica como é a estrutura de uma Rede Neural Artificial, unindo vários neurônios artificiais.

**Figura 5.** Representação de um sistema neural artificial.



FONTE: Adaptado de Antognetti e Milutinovi'c (1991).

Em RNAs é imprescindível que se escolha o tipo certo com o qual se quer trabalhar, a depender das finalidades e natureza de dados com que se quer trabalhar. Por isso, as redes neurais possuem diferentes tipos de arquitetura (com parâmetros como número de camadas da rede, número de nodos em cada camada, tipo de conexão entre os nodos e topologia da rede); configurações e modelos, que correspondem a forma como serão organizadas, processadas, estruturadas, com quantos números de camadas irá operar e quantas vezes o processamento será iterado.

As RNA, se tratando de um método, podem ser utilizadas em diferentes áreas do conhecimento, na ciência e no mercado como ferramenta de trabalho, portanto, também é multidisciplinar, como exposto por Haykin (1999). Representam uma tecnologia com raízes em muitas disciplinas como neurociência, matemática, estatística, física, ciência da computação e engenharia. Já existe uma série de obras sobre redes neurais, mostrando a teoria e funcionamento da técnica nos mais variados estudos (ANTOGNETTI e MILUTINOVIC, 1991; BISHOP, 1995; BRAGA et al., 2000; DESAI, 1996; HAYKIN, 1999; MacGREGOR, 1987; TAYLOR, 1991; WEST, 2000). Atualmente são conhecidas e utilizadas por vários autores, em diversas áreas, em diferentes tipos de estudos, entre obras, artigos, teses e dissertações, mostrando ajuste em aplicações diferentes.

Apenas na obra de Taylor (1991) estão disponíveis 12 artigos com aplicações diferentes, que refletem o espectro de aplicações que estão sendo testadas e usadas as redes neurais, cobrindo diagnósticos médicos, industriais e controle de áreas, como também discussões mais gerais em conhecimento e aprendizagem em redes. Isso permite com que sejam abertas à outros tipos de aplicações, a novas áreas, a novos campos, como na área ambiental.

As Redes Neurais Artificiais, por mais que ainda sejam incipientes em geociências no Brasil, surgem, como exposto por Silveira (2010), com grande potencialidade também em estudos hidrológicos e mapeamentos geomorfológicos. Outros exemplos, na área ambiental, podem ser obtidos na literatura, mostrando que as RNA podem ser empregadas com o propósito do presente trabalho.

Braga et al. (2000) utilizou RNA na área de problemas de otimização e predição de volume de vendas, problemas de processamento de sinais e imagens, por exemplo, para processamento de voz e visão computacional, e problemas de classificação com ênfase em aplicações na área de finanças. Muniz (1997) aplicou na área de previsão de demandas, apresentado bons resultados. Centeno et al. (2006) mostraram o uso das RNA sem modelagem do comportamento térmico de condensadores evaporativos, empregados em sistemas de refrigeração por compressão de amônia. Nas últimas décadas, também têm sido aplicadas em alguns estudos ambientais, voltadas à alguns elementos específicos, como aos recursos hídricos, em sua maioria, para previsão de variáveis hidrológicas, como a vazão dos rios (ZEALAND et al., 1999; MAIER e DANDY, 2000; DAWSON et al., 2002; BRAVO et al., 2008; PAZ et al., s/a.; FREITAS, s/a.).

Bravo et al. (2008) cita que a inclusão de previsões de precipitação num modelo de previsão hidrológica permite estender o horizonte da previsão para além do tempo de concentração da bacia e melhorar a qualidade da previsão dentro de horizontes determinados, o que pode trazer benefícios na operação de um reservatório e no SIN (sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil), como apresentado em Bravo (2006), Bravo et al. (2008) e Collischonn et al. (2006).

De acordo com Sarmiento (1996), as RNA devem ser utilizadas na modelagem de fenômenos naturais para os quais não se dispõem de uma formulação matemática explícita, capaz de reproduzir as relações entre as diversas relações envolvidas, o que bem se aproxima da problemática tratada nessa pesquisa, sobre a fragilidade ambiental. Algumas aplicações de RNA foram realizadas em estudos ambientais que se aproximam

da abordagem proposta nesse trabalho, como foi feito por Silveira (2001) e Spörl (2007).

Vários autores, inserindo a maioria que trabalha com a fragilidade ambiental, utilizam-se de produtos cartográficos primários e, posteriormente, seu processamento e sobreposição a partir de métodos que permitem a elaboração dos mapas temáticos, elaborando todos os procedimentos, processamentos e gerando-se os produtos finais, bem como o mapa temático de fragilidade ambiental, em Sistemas de Informação Geográfica - SIG.

Tratando-se de fragilidade ambiental, por exemplo, os métodos utilizados por Ross (1994) e seus procedimentos operacionais podem apresentar resultados de fragilidade que não refletem as características da realidade de campo, por exemplo, nem sempre uma área que apresenta um relevo mais dissecado é de fato mais frágil, ou ao contrário, nem sempre uma área de relevo plano é realmente mais estável, pois a fragilidade depende também das outras variáveis, como o regime de chuvas e temperatura superficial. Tais variáveis podem amenizar a vulnerabilidade em um local onde a vulnerabilidade de alguma variável seja alta e vice-versa (SPÖRL, 2007).

Utilizando-se as RNA, o objetivo é justamente que o modelo tente simular a realidade, reconhecer todas as variáveis disponíveis e identificar a partir de todas as relações e dependências possíveis, as correlações existentes entre elas e assim, o nível e grau real de fragilidade como seria no campo. Assim apresenta-se aqui o modelo proposto com expectativas à uma nova metodologia que avalie com qualidade os índices de fragilidade ambiental em uma paisagem, logo, solucionar problemas ambientais e auxiliar na proposta de soluções, planejamento e gestão ambiental mais efetivos e condizentes com a realidade, podendo ser considerado até mesmo como um novo instrumento de gestão.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Afim de se obter os melhores resultados possíveis com nível de detalhe significativo para o estudo, os dados utilizados no presente trabalho foram vários, principalmente no que diz respeito aos materiais cartográficos e de sensoriamento remoto (já que em nosso país não existe ainda um banco unificado com materiais, produtos e bases cartográficas de qualidade). Entre eles estão: dados brutos (valores numéricos); bases cartográficas (cartas topográficas digitalizadas e arquivos vetoriais em formato *shape*) e de sensoriamento remoto (imagens digitais).

Suas fontes de aquisição também variaram entre órgãos e Institutos como: INMET, Exército Brasileiro, IBGE, CPRM, Geominas, USGS/NASA, Instituto de Geografia - UFU, entre outros, bem como os softwares para processamentos e análises: ENVI 5.0 (Exelis VIS), ArcGis 10.1(ESRI) e Stata 10 (StataCorp LP), todos como seguem descritos mais adiante para cada variável considerada na análise da fragilidade ambiental da BHRJ.

Como alguns materiais foram utilizados mais de uma vez, para mais de uma variável, como é o caso das imagens digitais de sensoriamento remoto (ASTER e Landsat 8), antecipa-se aqui algumas informações importantes e descrições sobre ambos os dados utilizados.

##### 3.1.1. ASTER e Landsat 8

Foram escolhidos dados/imagens ASTER (NASA) e do satélite Landsat 8 devido a fácil aquisição, por serem totalmente gratuitas, e também devido as suas resoluções espaciais de 30 metros, que atende plenamente o propósito/escala desse estudo.

Esses dados podem ser acessados no site do Earth Explorer (USGS, 2015) com denominação de ASTER GLOBAL DEM e Landsat Archive L8 OLI/TIRS, respectivamente.

Neste trabalho, foi necessária a junção de duas cenas ASTER, a qual foi feita pela função mosaico no software ArcGis 10.1, visto que a área de abrangência da BHRJ

compreende dois fusos, 22 e 23K, vindo aí também a necessidade de se trabalhar com coordenadas geográficas lat/long. As cenas ASTER usadas foram: ASTGDEM2\_0S19W049 e ASTGDEM2\_0S19W048.

Sobre a série americana Landsat, organizada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), tem-se que a mesma é composta por 8 satélites, que teve início em 1972 (Landsat 1) e o último (Landsat 8), lançado recentemente, em 11 de fevereiro de 2013. Com o intuito de dar continuidade à distribuição gratuita de imagens digitais de todo o globo terrestre.

As imagens Landsat 8 possuem as seguintes características técnicas (Quadro 1).

**Quadro 1.** Características do Landsat 8 (OLI e TIRS).

<b>Bandas</b>	<b>Resolução Espectral (mc)</b>	<b>Resolução Espacial (m)</b>
Banda 1 – Aerossol	0.43 - 0.45	30
Banda 2 – Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 – Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 – Vermelho	0.64 - 0.67	30
Banda 5 - Infravermelho próximo	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 – Pancromática	0.50 - 0.68	15
Banda 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 10 - Infravermelho Termal (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
Banda 11 - Infravermelho Termal (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

FONTE: Adaptado autor, 2015.

Assim, a imagem adotada para uso neste trabalho corresponde a cena LC82210732015008LGN00, do dia 20 de agosto de 2015, também disponibilizada pelo site da USGS. A imagem foi escolhida nesta data específica, pois considerou-se que, no período seco do ano, a paisagem vegetativa representada na imagem aproxima mais do real, facilitando o processo de classificação da imagem, como a separação de classes de pastagens e cultivos de cana/milho, que se encontram em tonalidades diferentes. Além disso, nesse período, a cobertura do solo por folhagem vegetal é menor, o que deixa o solo mais exposto à intempérie, como a ação de vento e a altas temperaturas, podendo facilitar a ocorrência de fenômenos físico-químicos.

Estes e os demais materiais utilizados seguem apontados por variável considerada no presente trabalho, de acordo com o uso a que o mesmo foi destinado.

### 3.1.2. Dados Climatológicos, Geomorfológicos, Geológicos, Pedológicos, de Áreas Urbanas e de Uso e Ocupação do Solo

Foram consideradas nesse estudo duas variáveis climatológicas, temperatura superficial e precipitação, para análise da fragilidade ambiental na BHRJ. Por mais que não sejam variáveis tão significativas, por se tratar de uma área relativamente pequena (BHRJ) para ocorrer grandes variações nestes índices, é relevante considerá-las uma vez que contribuem e influenciam diversos processos como os de intemperismos, sejam estes físicos e/ou químicos. Assim, os dados de temperatura superficial foram obtidos da banda 10 (banda termal) da imagem digital do Landsat 8 (item 3.1.1) através do site “Earth Explorer” da USGS, enquanto que os dados brutos de precipitação foram obtidos de seis estações meteorológicas: estação 83526 (Catalão - GO), estação 83523 (Itumbiara-GO), estação 83514 (Capinópolis - MG), estação 83521 (Ituiutaba - MG), estação 83577 (Uberaba-MG) e estação 83531 (Patos de Minas - MG), disponíveis no site do INMET.

As descrições detalhadas da preparação desses dados constam em seções oportunas mais a frente.

Para se referir à geomorfologia da BHRJ, foram escolhidas e utilizadas as variáveis: hipsometria/altimetria, declividade, curvatura e sombreamento, todas foram calculadas a partir dos dados digitais ASTER supracitados (item 3.1.1), de 30 metros de resolução espacial, a partir da imagem digital adquirida no site da USGS.

As variáveis de geologia consideradas aqui foram: litotipos, unidades geológicas e fraturas, todas obtidas pela base cartográfica da CPRM disponível em formato *shape*, arquivo vetorial, que contém informações geológicas do Brasil, logo, do estado de Minas Gerais que contém a BHRJ. A base geológica é adquirida no geobank da CPRM e contém informações gerais diversas sobre a geologia do estado de Minas Gerais na escala de 1:1.000.000 (carta do Brasil ao milionésimo), como litotipos, unidades geológicas, eras geológicas, idades geológicas, e, entre outras, os tipos de fraturas geológicas com nomes das estruturas, direção, ângulo e sentido de mergulho, etc. A mesma foi utilizada então para preparação tanto do mapa temático de geologia, contendo informações dos litotipos e unidades geológicas, quanto para a geração do mapa temático de distância das fraturas.

A geologia encontrada para a BHRJ variou entre os litotipos arenito, basalto, ortognaisses, anfíbolito e micaxistos e também conglomerados compostos de laterita, areia, cascalho e argila dependendo da localidade.

Para a pedologia foram considerados os tipos de solos existentes na base cartográfica pedológica da Geominas, também disponível em formato *shape*, arquivo vetorial, a qual contém os principais tipos de solos com suas nomenclaturas, siglas, área de ocorrência, etc. para o estado de Minas Gerais. Para a BHRJ foram identificadas 4 classes de solos, litotipos, sendo: Latossolo roxo, Latossolo vermelho-escuro, Litossolo e Podzólico vermelho-amarelo.

Para se calcular as distâncias das áreas urbanas bem como auxiliar de base para a interpolação espacial dos dados de precipitação, foi necessário fazer uso da base cartográfica do IBGE que contém a Malha de Setores Censitários 2010, malha digital urbana do estado de Minas Gerais. O produto apresenta municípios, distritos, subdistritos e setores censitários em formato *shape*, arquivo vetorial, que utiliza como referência geodésica e cartográfica o Sistema Geográfico de Coordenadas Lat/Long e o Sistema Geodésico SIRGAS2000, respectivamente, ambos na escala compatível com a escala original de trabalho deste Instituto, 1:250.000.

Para a variável uso e ocupação do solo, afim de se identificar e separar as principais classes, foram utilizadas as bandas espectrais de 1 a 7 do satélite Landsat 8 (item 3.1.1), correspondentes a faixa do visível e infravermelho dentro do espectro eletromagnético.

Sendo assim, praticamente todos os materiais utilizados necessitaram de processamentos, análises e recortes específicos, o que demandou conhecimento e uso de softwares de processamento digital de imagens e de SIG's.

### 3.1.3. Softwares Utilizados

Alguns dos softwares disponíveis no mercado para uso estão o Spring, GDAL/OGR, MultiSpec, QGIS, Terra View, Grass, GvSIG, entre os de acesso livre (gratuitos) que são disponibilizados por diferentes órgãos como no caso do Spring que é elaborado e disponibilizado pelo órgão nacional INPE e ENVI, ArcGIS, Idrisi, entre os comerciais (com licenças a serem pagas) disponíveis também pelos seus respectivos órgãos. No presente estudo foram utilizados os softwares ENVI 5.0 e ArcGIS 10.1,

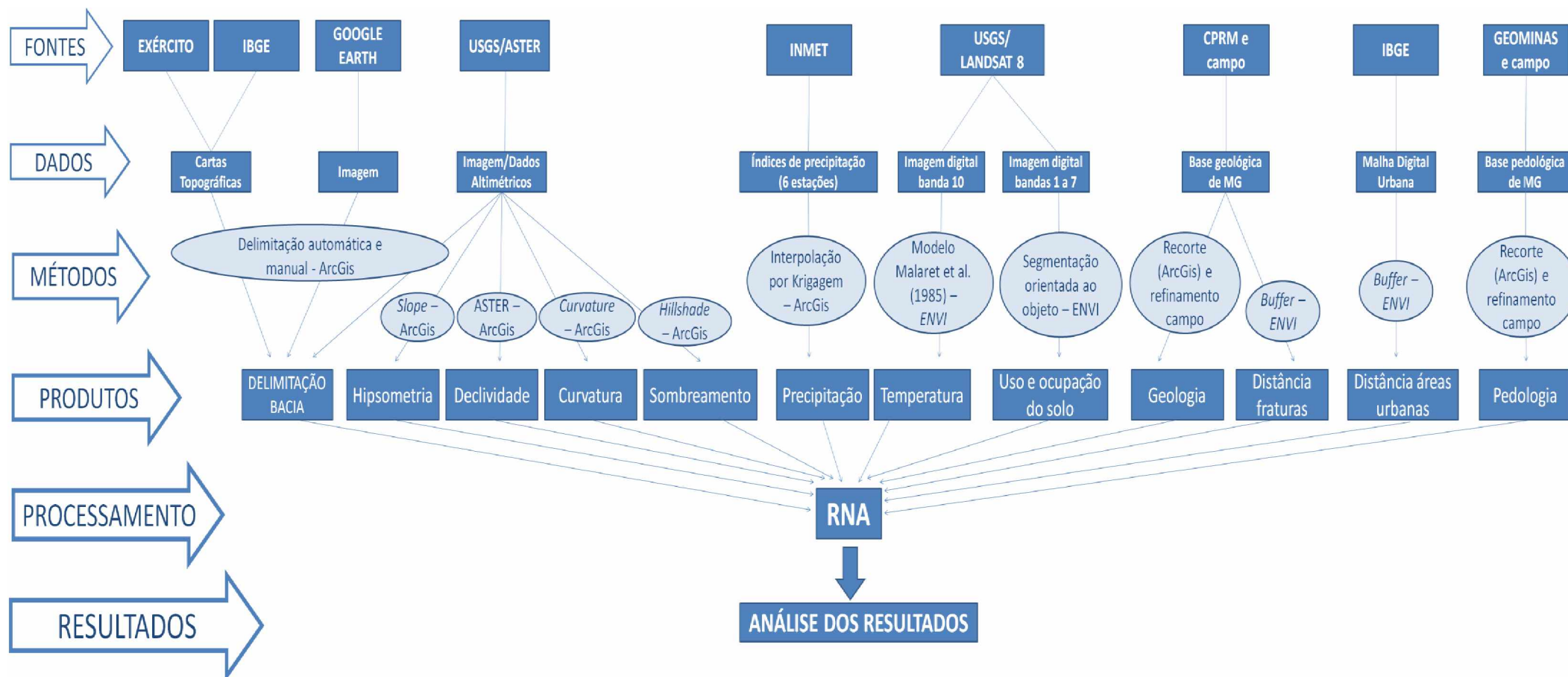


ambos com licença autorizada, para processamento de imagens e de dados bem como para confecção dos mapas temáticos.

### 3.2. METODOLOGIA

O fluxograma da metodologia proposta nessa pesquisa está ilustrado na Figura 6 abaixo.

**Figura 6.** Fluxograma da metodologia proposta.



FONTE: AUTOR, 2015.

Resumidamente, notou-se dos itens anteriores que, os materiais e dados utilizados aqui foram obtidos de fontes e bancos de dados diversos (órgãos, institutos, sítios eletrônicos, missão, etc.). Essa base consistiu em dados brutos (valores numéricos para representar índices de precipitação como uma variável climatológica); bases cartográficas (arquivos vetoriais no formato *shape*), referentes à topografia, como cartas topográficas, às áreas e limites urbanos, como a malha dos setores censitários, à geologia (litotipo, unidades geológicas e fraturas), pedologia (tipos de solos predominantes) e de sensoriamento remoto (imagens digitais ASTER com informações de geomorfologia como hipsometria, declividade, curvatura e sombreamento e Landsat 8 para uso e ocupação do solo e temperatura). Os mesmos foram usados como base para elaboração dos mapas temáticos e preparação das variáveis a serem consideradas como dados de entrada nas Redes Neurais Artificiais. Vale destacar que todos os dados foram adquiridos gratuitamente e que todos os mapas temáticos foram gerados sobre o mesmo sistema de coordenadas (Coordenadas Geográficas), mesmo datum (WGS84), e na mesma escala (1:250.000), conforme metodologias apresentadas abaixo.

Vale ainda destacar que, nesse estudo, embora não o sejam por definição, todos os produtos gerados serão denominados de mapas temáticos a fins de simplificação quanto a leitura e entendimento textual.

### 3.2.1. Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão

Para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Jordão foram utilizadas tanto bases cartográficas (cartas topográficas) quanto imagens digitais (ASTER). As três cartas topográficas necessárias, que cobrem a área da bacia, foram: cartas topográficas de Estrela do Sul, folha SE.23-Y-A-IV e Goiandira, folha SE.22-Z-B-III, ambas elaboradas pelo Exército brasileiro numa escala de 1:100.000, com equidistância das curvas de nível de 40 m, datum vertical Imbituba - SC, datum horizontal Córrego Alegre-MG e Projeção Universal Transversa de Mercator/UTM e carta topográfica de Uberlândia, folha SE.-22-Z-B-VI-3, elaborada pelo IBGE numa escala de 1:50.000, com equidistância das curvas de nível de 20 m, datum vertical de Imbituba - SC, datum horizontal SAD-69 e projeção UTM. Todas foram digitalizadas e disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto de Geografia da UFU.

As três cartas foram processadas na escala de 1:100.000, transformadas para o sistema de coordenadas geográficas, no datum WGS84, e curvas de nível de 40 metros.

Há controvérsias sobre qual a melhor forma e modelo mais preciso para delimitação de bacias hidrográficas, se manual ou automático; portanto, optou-se aqui por uma junção de conhecimentos técnico-operacionais e de campo com uso também de ferramentas de delimitação automática por meio de softwares específicos.

Foi usado o software ArcGis versão 10.1, onde, primeiramente, fez-se o georreferenciamento das três cartas topográficas e a vetorização manual de suas curvas de nível e redes de drenagem. Posteriormente, calculou-se a delimitação automática da BHRJ, a partir do dado ASTER, com ferramentas específicas também do ArcGis 10.1. Sobrepostas-se a delimitação automática gerada com a imagem ASTER sobre as cartas topográficas vetorizadas manualmente e, então, gerou-se o vetor limite da BHRJ, ajustando manualmente os limites dos dois dados. No processo de ajustamento dos dois limites, utilizou-se o Google Earth Pro (primeira versão gratuita), para auxiliar visualmente em pontos de dúvida. O vetor limite gerado desse processo foi utilizado em todo o trabalho para os recortes das bases cartográficas e de sensoriamento remoto, os quais foram usados para geração e preparação final dos mapas temáticos.

### 3.2.2. Mapa Temático de Precipitação

Para o mapa temático de precipitação utilizou-se os dados do INMET (item 3.1.2) e a base cartográfica com a malha digital do IBGE com o limite do estado de Minas Gerais.

As seis estações meteorológicas foram escolhidas de forma aleatória simples, de acordo com sua localização e espacialização considerando a proximidade e boa distribuição ao entorno da bacia.

Primeiramente fez-se uma coleta e tabulação dos dados de precipitação por mês, de cada uma das estações e, posteriormente, foram realizadas análises estatísticas básicas para se calcular a média de precipitação mensal e depois anual, para um período de 25 anos no total (de agosto de 1990 à agosto de 2015).

Para cálculo dos valores médios finais para a precipitação na BHRJ como um todo, foi necessário o uso da base cartográfica do IBGE com o limite físico-territorial do estado de Minas Gerais para espacialização das estações e seus respectivos dados, daí

fez-se então uma interpolação dos dados pontuais, utilizando-se o método de krigagem (modelo linear), disponível no software ArcGis 10.1.

A fórmula utilizada para cálculo da krigagem está representada na Equação 2.

$$\hat{K}(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i K(S_i) \quad (2)$$

onde:  $K(S_i)$  é o valor medido para o local “i”;  $\lambda_i$  é o peso desconhecido para o valor medido no local “i”;  $S_o$  é o local previsto; e  $N$  é o número total dos valores medidos.

Nesse contexto, a interpolação foi feita com a geração de uma malha regular, de resolução igual às imagens Landsat 8, com 30 metros quadrados. Os valores de krigagem são convertidos em números digitais e o mapa de precipitação é gerado a partir da referida malha, já no formato raster.

### 3.2.3. Mapa Temático de Temperatura

O sensor TM/Landsat 8, corresponde às bandas 10 e 11, que registram a radiação eletromagnética emitida pelos alvos presentes na superfície terrestre, sendo denominadas de bandas termais. Muitos estudos, como o de Malaret et al. (1985), propuseram modelos para converter os valores digitais registrados nessas imagens em temperatura superficial.

Para a elaboração do mapa temático de temperatura foi utilizada a banda 10 do Landsat 8, correspondente à banda termal.

Devido à simplicidade matemática e número reduzido de variáveis necessárias, foi usado, nessa pesquisa, o modelo proposto por Malaret et al. (1985), que determina a temperatura em graus Kelvin. Trata-se de um modelo matemático de regressão quadrática que não demanda informações de campo para calcular a temperatura superficial (Equação 3). Ressalta-se que foi adaptado o modelo de Malaret et al. (1985) para a obtenção direta da temperatura em graus Celsius, subtraindo o valor 273,15.

$$T = -63,319 + 0,831 \cdot ND - 0,00133 \cdot ND^2 \quad (3)$$

onde  $T$  é a temperatura aparente de superfície, em graus Celsius, e  $ND$  é o número digital de cada pixel na banda termal.

O mapa temático final, com informações da temperatura superficial foi salvo em formato raster.

#### 3.2.4. Mapa Temático de Hipsometria

O mapa temático de hipsometria (altimetria) da BHRJ foi elaborado a partir do dado ASTER utilizando-se os próprios valores altimétricos presentes na imagem, o qual foi recortado a partir do vetor limite, definido na seção anterior, obtendo como resultados, valores referentes à altimetria em metros de toda a bacia hidrográfica do rio Jordão. O mapa temático de hipsometria apresentou ranhuras, as quais podem ser erros causados, por exemplo, pela silvicultura, que podem gerar variação altimétrica em relação ao solo, assim, todos os demais que foram gerados a partir da hipsometria, ou seja, todos os mapas temáticos que foram elaborados para as variáveis geomorfológicas supracitadas, podem apresentar as mesmas distorções devido ao uso do dado ASTER.

#### 3.2.5. Mapa Temático de Declividade

Para geração do mapa de declividade utilizou-se também do dado ASTER. O cálculo da declividade foi realizado a partir da função *slope* (declividade em inglês), representada pela Equação 4, e implementada no software ArcGis 10.1, como uma ferramenta de análise espacial.

$$slope = ATAN \left( \sqrt{\frac{dz^2}{dx} + \frac{dz^2}{dy}} \right) \quad (4)$$

onde,  $\frac{dz}{dx}$  é a taxa de alteração na direção horizontal e  $\frac{dz}{dy}$  é a taxa de alteração na direção vertical.

A função *slope* representa a taxa de mudança de elevação em um modelo digital de elevação (MDE), entre as células da grade considerada. É a primeira derivação de um MDE. Para cada célula, a máxima taxa de variação é calculada com base na função *slope* em relação ao valor da célula analisada e seus vizinhos. Basicamente, a mudança máxima é medida pela razão entre elevação e distância da célula e seus oito vizinhos, o que identifica a mais íngreme declividade da célula.

O *slope* pode ser medido em graus ou porcentagem, mas é comumente medido em unidades de graus. Para converter em porcentagens, basta multiplicar o *slope* medido pelo valor 57.29578, que é uma versão truncada do resultado de 180/PI.

Dessa forma, o mapa de declividade foi gerado célula a célula, aplicando a Equação 4 sobre os dados ASTER, já recortados para a área de estudo.

### 3.2.6. Mapa Temático de Curvatura

Para o mapa temático com as curvaturas das vertentes presentes na BHRJ, gerado também a partir da imagem ASTER, foi utilizada a ferramenta de análise espacial do ArcGis 10.1 “*curvature*”. Esta ferramenta calcula o segundo valor de derivação da superfície de entrada, célula por célula. Para tanto, primeiramente é gerado um polinômio de quarta ordem (Equação 5), determinado para cada célula, que é ajustado a uma superfície composta por uma janela vizinha de 3x3 pixels.

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I \quad (5)$$

onde, Z é a medida altimétrica de cada célula; x e y são as colunas e linhas da janela de vizinhança, respectivamente; os coeficientes “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F”, “G”, “H” e “I” são calculados a partir da superfície gerada pelo polinômio.

A relação entre os coeficientes e os 9 valores de elevação presentes na janela é dada pelos modelos abaixo:

$$A = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4$$

$$B = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3$$

$$C = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3$$

$$D = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2$$

$$E = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2$$

$$F = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2$$

$$G = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$H = (Z2 - Z8) / 2L$$

$$I = Z5$$

onde L é a largura da célula da janela de vizinhança.

Finalmente, a Curvatura, calculada pela segunda variação da superfície, é determinada pela Equação 6.

$$Curvature = -2 (D + E)100 \quad (6)$$

De posse dos dados ASTER e do modelo representado na Equação 6, o mapa de curvatura foi determinado, célula a célula, e salvo em formato raster.

### 3.2.7. Mapa Temático de Sombreamento

Para geração do mapa temático de sombreamento a imagem ASTER foi processada a partir do cálculo realizado pela ferramenta *hillshade* (Equação 7), implementada no ArcGis 10.1, que é um modelo em três dimensões-3D da superfície, em escala de cinza, considerando a posição relativa do sol. Essa técnica obscurece/sombria partes da área mapeada, dependendo da altimetria do local. Exemplos de dados de entrada para esta função são: o MDE (dado SRTM), para cálculo da declividade/*slope* (Ds) e aspecto (P); o azimute (Az) e altitude/zênite (Ze) da fonte de iluminação/sol e escala (nesse estudo é de 255).

$$Hillshade = 255 ( (\cos(Ze) \cos(Ds)) + (\sin(Ze) \sin(Ds) \cos(Az - P))) \quad (7)$$

O mapa temático referente ao sombreamento é determinado para cada célula da imagem, gerando um arquivo raster de saída, já recortado com o limite da BHRJ. Ressalta-se que, se o cálculo do valor *hillshade* for  $< 0$ , o valor de saída da célula será zero.

### 3.2.8. Mapa Temático de Geologia

Para o mapa temático de geologia foi utilizada a base do Geobank da CPRM, referente às cartas geológicas do Brasil ao milionésimo: se23\_lito (“belohorizonte”) e se22\_lito (“Goiânia”), as quais também foram unidas pelo método “mosaico” (ferramenta disponível no software ArcGis 10.1) como feito para as cenas ASTER (item3.1.1) e as quais se encontram com Coordenadas Geográficas e no Datum WGS84.



No software ArcGis 10.1 importou-se esta base geológica da CPRM e fez-se o recorte da mesma com o limite da BHRJ, de onde foi possível identificar 6 unidades litológicas diferentes para a área de estudo. Com trabalho de campo, o qual foi realizado para conferir a veracidade do banco de dados e dos resultados sobre os litotipos identificados, foi possível refinar os dados para os quais gerou-se o mapa temático de geologia da BHRJ na escala de 1:250.000.

O mapa final, após refinamento, foi salvo em formato raster, com resolução de 30 metros, coincidindo com a resolução espacial da imagem Landsat 8.

### 3.2.9. Mapa Temático de Distâncias das Fraturas

Assim como para geração do mapa de distância das áreas urbanas, foi necessária a base cartográfica (arquivo vetorial/shape) de geologia, onde está disponível o *layer* vetorial de fraturas da BHRJ, para geração do mapa de distância das fraturas.

Como o arquivo da Geologia já tinha sido recortado com o limite da BHRJ, o trabalho foi apenas separar o *layer* de fraturas das demais presentes no arquivo original. Após esta etapa, o vetor de fraturas foi aberto no software ENVI 5.0, onde foi criado o *buffer* de distâncias das fraturas para todos os pontos da grade de 30 metros que cobria a BHRJ. Igualmente ao caso das distâncias das áreas urbanas, foi utilizado um raio de forma que abrangesse o ponto mais distante existente na área de estudo.

O mapa resultante foi salvo com resolução de 30 metros, também no formato raster.

### 3.2.10. Mapa Temático de Pedologia

O mapa temático de pedologia foi gerado a partir da aquisição de banco de dados disponibilizado pelo Geominas, o qual contém a base de solos do estado de Minas Gerais. Igualmente aos outros mapas, no software ArcGis 10.1 fez-se o recorte dessa base de solos com uso do limite da BHRJ. Assim como o mapa de Geologia, o produto final foi refinado e elaborado em uma escala de 1: 250.000.

Nesse recorte foram observadas 4 classes de solos, sendo elas: Latossolo roxo, Latossolo vermelho-escuro, Litossolo e Podzólico vermelho-amarelo. O mapa temático

final foi recortado e salvo em formato raster, conservando a resolução espacial dos outros mapas, com 30 metros.

Entre as convenções cartográficas utilizadas para as cores referentes a pedologia foi utilizada como referência a convenção de cores para mapas/cartas de solos do IBGE.

### 3.2.11. Mapa Temático de Distâncias das Áreas Urbanas

Para geração do mapa de distâncias das áreas urbanas foi utilizada a base cartográfica do IBGE com a malha digital do estado de Minas Gerais que possui os limites físico-territoriais de seus municípios, disponibilizada, em arquivo de formato vetorial/*shape*, o qual já possui a vetorização das áreas urbanas e rurais separadamente por município.

De posse desse arquivo, foi feito então o recorte da área com o limite da BHRJ, onde identificou-se os municípios e áreas urbanas que compunham a BHRJ. Os municípios são: Araguari, Cascalho Rico, Estrela do Sul e Indianópolis. O *layer* correspondente às áreas urbanas foi isolado para cálculos das distâncias dessa feição para todos e quaisquer outros pontos existentes na BHRJ, utilizando uma grade de igual resolução da imagem Landsat 8 (30 metros). Com o uso do software ENVI 5.0, foi criado um *buffer* para geração do mapa temático de distâncias de áreas urbanas. A única entrada nessa função, além do vetor/*shape* das áreas urbanas, é uma medida de distância máxima, que deve ser suficiente para atender o ponto mais distante existente na área em estudo. O mapa de distâncias de áreas urbanas foi gerado e salvo em formato raster.

### 3.2.12. Geração do Mapa Temático de Uso e Ocupação do Solo

Para geração do mapa temático de uso e ocupação do solo foram utilizadas as 7 primeiras bandas da imagem do Landsat 8, relativa a cena LC82210732015008LGN00 (item 3.1.1), que correspondem a região espectral do visível e infravermelho.

Para elaboração desse mapa temático foi aplicada a segmentação orientada a objeto seguida da classificação dos objetos. A segmentação da imagem, utilizando-se o método da Segmentação Orientada ao Objeto, foi realizada no software ENVI EX, levando em conta todos os parâmetros disponíveis, relacionados com aspecto: espectral,

espacial, textural e customizado (SILVA et. al, 2016). O aspecto espectral esteve ligado ao máximo, mínimo, média e desvio padrão em cada banda; o aspecto espacial, ligado à área, comprimento, compactação, convexidade, solidez, forma e alongamento; o textural ligado ao conjunto, a média, variância e entropia; e o customizado ligado a razão de bandas e sistema IHS - Intensidade, Matiz e Saturação.

O classificador utilizado para classificação da imagem segmentada foi o K-Nearest Neighbor – KNN (método de estimação de densidade pelo vizinho mais próximo), sugerido por Cover e Hart (1967). Esse método além de apresentar bons resultados, possibilita a redução do tempo de processamento e é simples matematicamente.

No processo de classificação foram selecionadas amostras (objetos segmentados) que pertenciam a alguma classe/feição existente na BHRJ. Nesse estudo foram selecionadas e definidas 7 classes de uso e ocupação do solo, a serem utilizadas para análise da fragilidade ambiental na BHRJ, mostradas a seguir:

- **Mata nativa:** Correspondente as florestas e vegetações ligadas aos biomas presentes na região, como Cerrado e Mata Atlântica e suas derivações e formações específicas, preservadas.
- **Silvicultura:** Plantações de pinus e eucaliptos para consumo e uso econômico.
- **Agricultura:** a) Cultivos de período longo: plantações de café, etc.; b) Cultivos de período curto: plantações de soja, milho, cana de açúcar, etc.
- **Áreas úmidas:** Corpos d'água diversos, represas, córregos, olhos d'água, áreas alagadas, encharcadas, veredas e a própria foz do rio Jordão.
- **Pastagens:** Áreas destinadas a pecuária intensiva ou não, naturais ou não, cobertas por baixo extrato vegetativo de arbustos à vegetações arbustivas e rasteiras.
- **Solo exposto:** Solos sem cobertura vegetal, sem pavimentação, solo de cultivos de período curto quando em pousio, loteamentos, áreas degradadas, etc.
- **Áreas urbanas:** Cidades, distritos, áreas construídas e urbanizadas, indústrias, fábricas, etc.

Após seleção das classes por amostragem foi aplicado o classificador por segmentação. E após a classificação por segmentação aplicou-se o índice Kappa, afim de avaliar a qualidade e resultado da classificação da imagem. O mapa final foi salvo em formato raster, para representação da variável “uso e ocupação do solo”.

### 3.2.13. Trabalhos de Campo

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa foram realizadas visitas a campo com a finalidade de reconhecer a área de estudo, desde a montante da BHRJ, à foz do rio Jordão, jusante da bacia, e, junto disto, fazer levantamentos e verificações das principais características de algumas das variáveis consideradas para uso no presente trabalho, como geologia, pedologia e uso e ocupação do solo. Objetivou-se aqui ainda refinar os dados e informações de geologia e pedologia com auxílio de geólogos para elaboração dos mapas temáticos numa melhor escala.

Sendo assim, os pontos de amostra foram escolhidos de forma aleatória simples.

Os trabalhos de campo foram realizados em dias e horários diversos e em diferentes locais, que foram escolhidos, buscando-se coletar pelo menos uma amostra de cada feição paisagística, aparentemente diferente uma da outra, que abrangesse assim, diferentes locais com diferentes características e variáveis por toda a área da BHRJ.

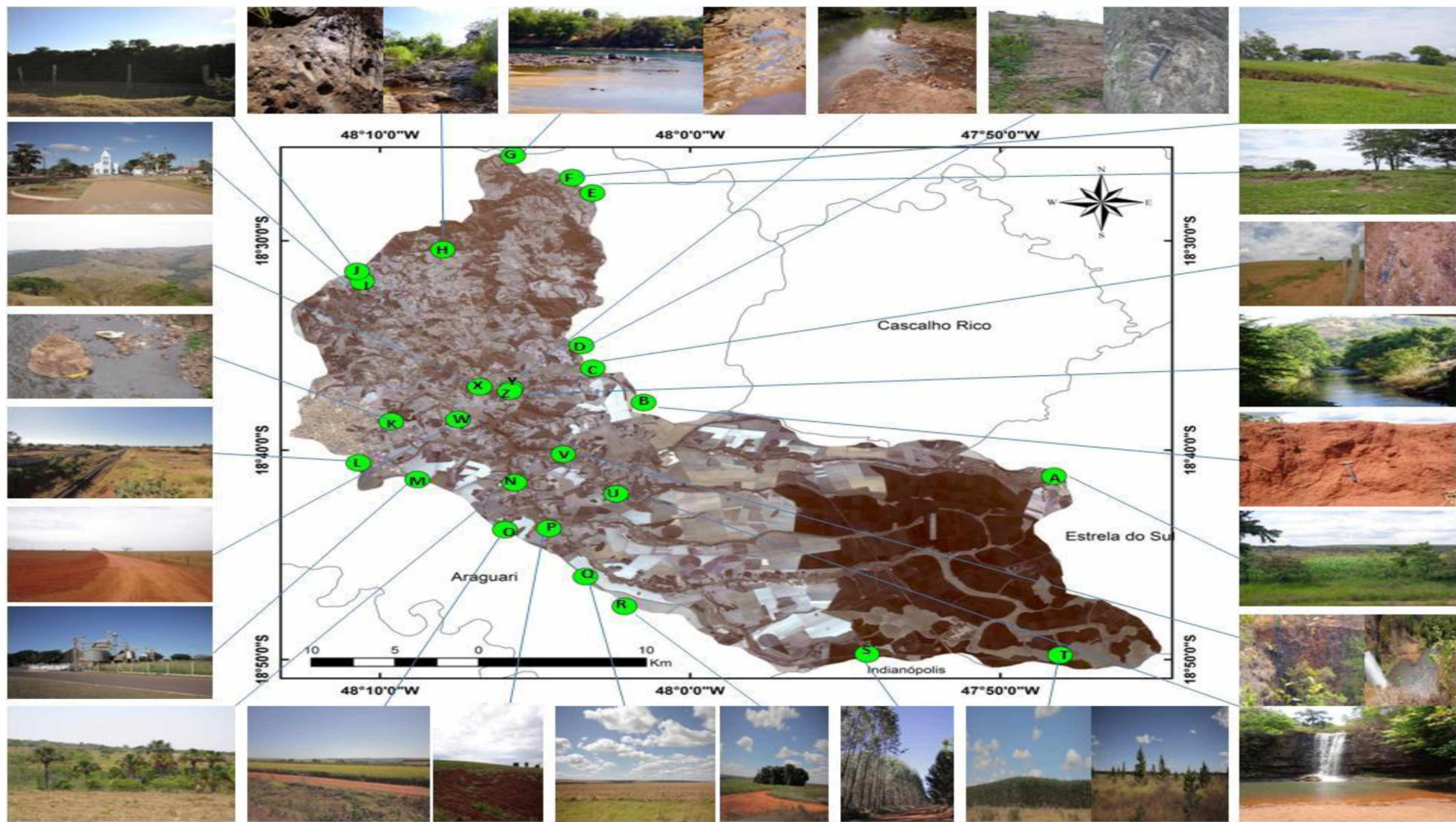
Os pontos (pares de coordenadas  $x$ ,  $y$ ) de cada local de parada e análise foram marcados com aparelho GPS Garmin, modelo etrex 20, os quais receberam os respectivos nomes Pontos: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y e Z definidos de acordo com a tabela de coordenadas abaixo (Tabela1) e os quais seguem espacializados e ilustrados na Figura 7.

**Tabela 1.** Pontos do Trabalho de Campo

<b>Pontos</b>	<b>Longitude Oeste</b>	<b>Latitude Sul</b>	<b>Descrições (geologia; pedologia)</b>
A	47°48'16.3"	18°41'14.8"	Marília-arenito; latossolo vermelho-escuro
B	48°01'30.5"	18°37'43.6"	Marília-arenito; latossolo vermelho-escuro
C	48°03'08.2"	18°36'05"	Serra Geral-basalto; litossolo
D	48°03'30.3"	18°35'00"	Nova aurora-ortognaisse; podzólico vermelho-amarelo
E	48°3'09.00"	18°27'43.10"	Goiandira-ortognaisse e anfibolito; podzólico vermelho-amarelo
F	48°3'48.40"	18°26'59.10"	Goiandira-ortognaisse e anfibolito; podzólico vermelho-amarelo
G	48°5'42.35"	18°25'55.22"	Nova aurora-ortognaisse; podzólico vermelho-amarelo
H	48°7'58.48"	18°30'25.29"	Nova aurora-ortognaisse; litossolo
I	48°10'34.53"	18°31'56.31"	Araxá B-micaxisto; latossolo vermelho-escuro
J	48°10'44.37"	18°31'27.82"	Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas; latossolo vermelho-escuro
K	48°9'38.32"	18°38'37.98"	Serra Geral-basalto; latossolo vermelho-escuro
L	48°10'41.56"	18°40'36.54"	Marília-arenito; latossolo vermelho-escuro
M	48°8'47.90"	18°41'24.19"	Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas; latossolo vermelho-escuro
N	48°5'39.48"	18°41'33.03"	Serra Geral-basalto; latossolo vermelho-escuro
O	48°5'58.36"	18°43'48.18"	Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas; latossolo vermelho-escuro
P	48°4'33.17"	18°43'44.55"	Serra Geral-basalto; latossolo vermelho-escuro
Q	48°3'22.55"	18°46'2.35"	Coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas; latossolo vermelho-escuro
R	48°2'6.91"	18°47'27.71"	Marília-arenito; latossolo roxo
S	47°54'17.78"	18°49'44.42"	Marília-arenito; latossolo vermelho-escuro
T	47°48'4.35"	18°49'47.64"	Marília-arenito; latossolo vermelho-escuro
U	48° 2'23.30"	18°42'5.30"	Serra Geral-basalto; latossolo vermelho-escuro
V	48°4'5.72"	18°40'11.71"	Araxá B-micaxisto; litossolo
W	48°7'28.72"	18°38'31.85"	Serra Geral-basalto; litossolo
X	48°6'47.13"	18°36'58.38"	Araxá B-micaxisto; litossolo
Y	48°5'46.14"	18°37'4.27"	Araxá B-micaxisto; podzólico vermelho-amarelo
Z	48°5'48.89"	18°37'10.74"	Araxá B-micaxisto; podzólico vermelho-amarelo

FONTE: AUTOR, 2015.

Figura 7. Ilustração e espacialização dos trabalhos de campo.



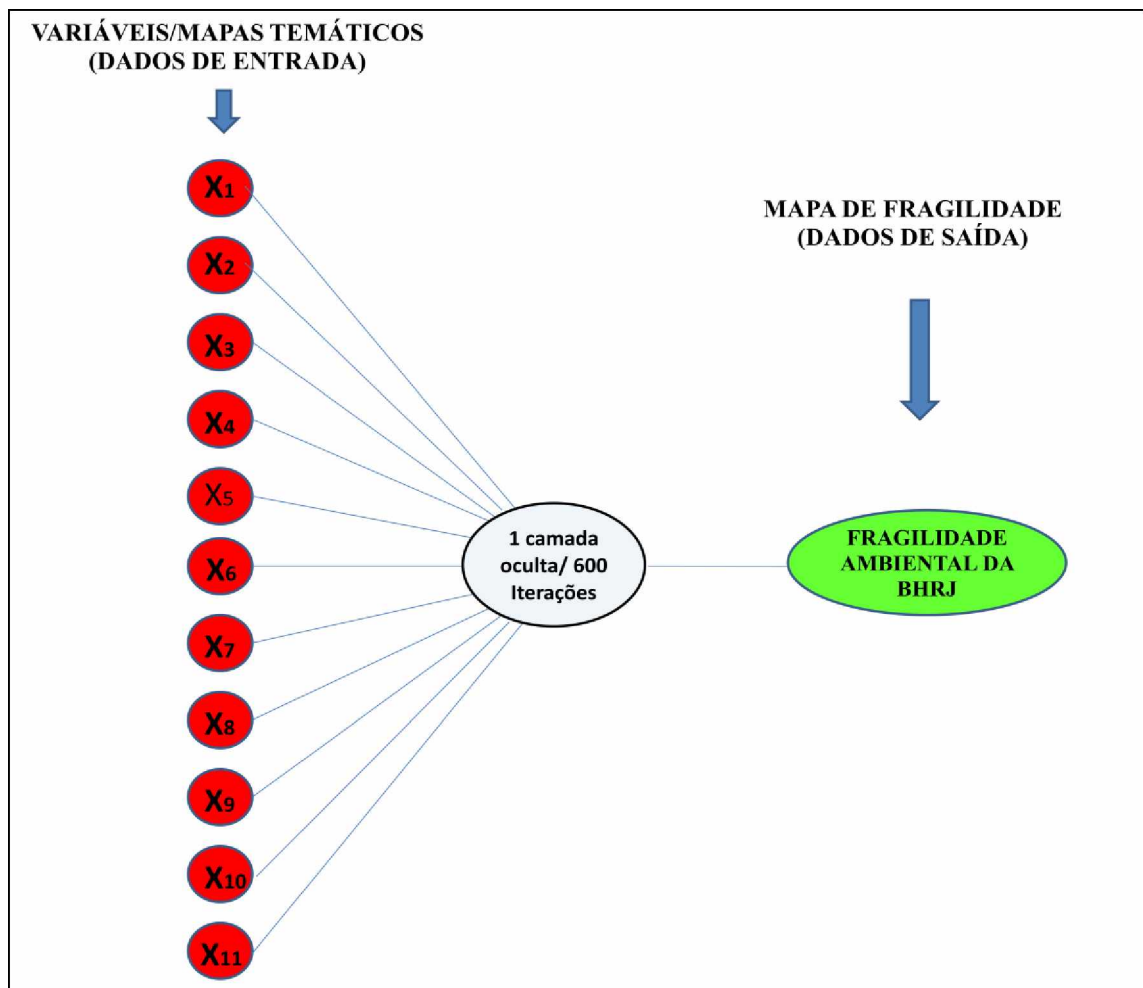
FONTE: AUTOR, 2015.

### 3.2.14. Determinação da Fragilidade Ambiental com uso de Redes Neurais Artificiais

Elaborados os mapas temáticos para cada uma das variáveis supracitadas, os quais apresentarão os resultados em tópico mais adiante, o mapa final foi gerado a partir da junção de todos estes temas/variáveis na extensão tif. (formato raster/matricial).

Assim, para determinar a fragilidade ambiental na BHRJ foi utilizado o método da retropropagação ou *backpropagation* que pode ser ilustrado pela seguinte arquitetura de rede (Figura 8), baseada no modelo de McCulloch e Pitts e Antognetti e Milutinović (1991) (Figuras 3 e 4), para aplicação e uso da RNA para o qual, nesse estudo, foi utilizado o software ENVI 5.0.

**Figura 8.** Arquitetura da Rede Neural Utilizada.



FONTE: AUTOR, 2015.

O método da retropropagação, usado para classificação supervisionada, consiste em um processamento complexo onde é possível escolher o número de camadas

escondidas, ocultas, a serem usadas e ainda escolher entre uma função logística ou hiperbólica. O aprendizado da rede acontece ajustando-se os pesos de cada parâmetro e o erro é retropropagado através da rede onde o ajuste dos pesos é feito usando um método recursivo. A classificação por Rede Neural pode ser usada para executar também uma classificação não linear.

Assim, foi realizado o treinamento inicial da rede com os dados/variáveis de entrada e, posteriormente, a partir da definição do erro e ajuste dos demais parâmetros, o software fez o processamento considerando várias iterações, enviando e reenviando quando necessário e quantas vezes preciso informações destes dados, afim de atingir o erro proposto para o resultado final.

A RNA do software ENVI possui e permite ajustar um total de 7 parâmetros os quais possuem as seguintes funções:

- *Training Threshold Contribution*: Determina o tamanho da contribuição do peso interno com relação ao nível de ativação de um nódulo podendo ir de 0 a 1. Tal parâmetro serve, portanto, para ajustar as mudanças do peso interno de um nódulo. O algoritmo de treinamento interativamente ajusta os pesos entre os nódulos e opcionalmente os limiares do nódulo para minimizar o erro entre a camada de produção e a resposta desejada. Então, quanto mais próximo de 0 mais distante e difícil de ajustar os pesos internos do nódulo. Os ajustes podem conduzir a melhores classificações, porém, pesos muito altos podem conduzir também a generalizações pobres, assim o ideal é que o valor para esse parâmetro se aproxime de 1;

- *Training Rate*: Este parâmetro se refere a taxa de treinamento e pode variar entre 0 e 1, determinando a magnitude do ajuste dos pesos. Quanto mais alta a taxa, mais o treinamento será acelerado, porém, também aumentará o risco de oscilações ou não convergências do resultado do treinamento;

- *Training Momentum*: sua taxa varia entre 0 e 1 sendo que, se maior que 0 permite fixar uma taxa de treinamento mais alta sem oscilações, quanto maior a taxa do impulso de treinamento, maior quantidade de treinamentos. Seu efeito é incentivar mudanças de peso ao longo da direção da corrente;

- *Training RMS Exit Criteria*: indica o valor do erro aceitável até o qual o treinamento deveria parar. Se o erro mostrado no gráfico durante o treinamento for menor que o valor de entrada estabelecido, o treinamento se encerrará, mesmo se o número de iterações/repetições não tiver sido atingido, a classificação será então executada;



- *Number of Hidden Layers*: Consiste no número de camadas escondidas/ocultas com que se quer trabalhar, sendo 0 para uma classificação linear e 1 ou mais para uma classificação não linear. Sem camadas escondidas, as diferentes regiões de contribuição devem ser linearmente separáveis com um único hiperplano, ao passo que, quando as regiões de contribuição são linearmente inseparáveis e requerem dois hiperplanos para separar as classes, é necessário pelo menos uma camada escondida para solucionar o problema. Para elementos não contíguos ou conectados são usadas duas camadas escondidas para classificar o espaço de contribuição;

- *Number of Training Iterations*: Quantidade de iterações a se fazer para gerar o resultado;

- *Min Output Activation Threshold*: Serve para introduzir um limite mínimo de ativação de saída, se o valor de ativação do pixel a ser classificado for inferior a este valor limite, então esse pixel será marcado como não classificado na saída.

Os dados de entrada corresponderam aos 11 mapas temáticos que condizem com as variáveis  $X_n$  da Figura 8 (excluindo-se dos tópicos já citados apenas o limite da BHRJ já que o mesmo foi embutido em todos os demais mapas temáticos), os quais seguiram a ordem da Tabela 2 abaixo:

**Tabela 2.** Ordem dos dados de entrada na RNA.

<b>Variáveis/Mapas Temáticos (DADOS DE ENTRADA)</b>	
$X_1$	Precipitação
$X_2$	Temperatura
$X_3$	Hipsometria
$X_4$	Declividade
$X_5$	Curvatura
$X_6$	Sombreamento
$X_7$	Geologia
$X_8$	Distância das Fraturas
$X_9$	Pedologia
$X_{10}$	Distâncias das Áreas Urbanas
$X_{11}$	Uso e Ocupação

FONTE: AUTOR, 2015.

A ativação utilizada foi a logística e os parâmetros foram ajustados para os seguintes valores:

- Training Threshold Contribution: 0.9
- Training Rate: 0.2

- Training Momentum: 0.9
- Training RMS Exit Criteria: 0.1
- Number of Hidden Layers: 1
- Number of Training Iterations: 600
- Min Output Activation Threshold: -

Os resultados gerados foram analisados e comparados conforme segue na próxima seção.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS VARIÁVEIS

Para mostrar que os dados usados nessa pesquisa estão ajustados, foi gerado um modelo de regressão linear simples. O modelo foi trabalhado com 33747 variáveis. A variável dependente (Nivelfrag), que indica o nível de fragilidade, variou de 1 a 4, onde o valor 1 indica menor fragilidade ou maior grau de proteção/resistência (Forte); o 2 aponta uma proteção mais moderada, onde coexistem indícios de fragilidade (Média); o número 3 designa baixo grau de proteção ou fragilidade moderada (Fraca) e, finalmente, o valor 4 assinala um grau de fragilidade mais acentuado ou uma proteção e resistência muito baixa (Muito Fraca). As variáveis  $X_1$  a  $X_{11}$  representam, respectivamente, os temas: “Precipitação”, “Temperatura Superficial”, “Hipsometria/Altimetria”, “Declividade”, “Curvatura Horizontal/Vertical”, “Sombreamento”, “Geologia”, “Distâncias de Fraturas”, “Pedologia”, “Distâncias de Áreas Urbanas” e “Uso e Ocupação do Solo”.

O modelo de Regressão mostrou, com esse número de amostras, as seguintes estatísticas globais:  $F(11,33735) = 3469.51$ , Probabilidade  $> F = 0.0000$ ,  $R^2 = 0.5308$ ,  $R^2$  ajustado = 0.5307 e a raiz do erro médio quadrático ou RMSE = 0.86221.

O modelo gerado está bem ajustado, o que pode ser verificado pelo teste F, com valor nulo. As demais estatísticas, determinadas para cada variável, podem ser vistas na Tabela 3. Analisando o  $R^2$ , tem-se que as alterações na variável dependente (Nivelfrag) são explicadas em 0,5308 pelas variáveis independentes.

**Tabela 3.** Estatísticas correspondentes ao modelo de regressão linear.

Variáveis	Desvio Padrão	Teste t	Prob. >  t	[Interval.-95% conf.]	
<b>X<sub>1</sub></b>	0,0109	4,05	0.000	0,022900	0,065782
<b>X<sub>2</sub></b>	0,0018	-45,32	0.000	-0,085570	-0,078478
<b>X<sub>3</sub></b>	0,0001	-40,58	0.000	-0,003960	-0,003596
<b>X<sub>4</sub></b>	0,0010	3,36	0,001	0,001367	0,005180
<b>X<sub>5</sub></b>	1,1135	2,07	0,038	0,124714	4,489879
<b>X<sub>6</sub></b>	0,0020	-6,84	0.000	-0,017690	-0,009805
<b>X<sub>7</sub></b>	0,0040	57,07	0.000	0,220553	0,236242
<b>X<sub>8</sub></b>	0,0000	-21,56	0.000	-0,000810	-0,000675
<b>X<sub>9</sub></b>	0,0086	11,24	0.000	0,080049	0,113850
<b>X<sub>10</sub></b>	0,0000	3,69	0.000	0,000052	0,0001712
<b>X<sub>11</sub></b>	0,0004	-57,34	0.000	-0,024860	-0,023217
<b>const.</b>	1,4232	3,85	0.000	2,691257	8,270451

FONTE: AUTOR, 2015.

Observando os valores da probabilidade mostrados na quarta coluna da Tabela 3, pode-se verificar que todas as variáveis, com exceção das **X<sub>4</sub>** e **X<sub>5</sub>**, apontam significância a 1%, indicando alta qualidade das amostras. Embora não pertencendo ao grupo mencionado (a 1%), as duas variáveis (**X<sub>4</sub>** e **X<sub>5</sub>**) assinalam significância a 5%, o que ainda é entendido como amostras de alta qualidade. Dessa forma, pode ser afirmar que o modelo foi significativo a 5%.

Sendo assim, estão apresentadas no próximo item algumas ordens numéricas definidas de acordo com os níveis de fragilidade para cada uma das variáveis de onde foram obtidas e selecionadas as amostras, com seus respectivos resultados gerados após a elaboração dos mapas temáticos e a partir da análise de prováveis suscetibilidades e vulnerabilidades a que a paisagem da BHRJ pode estar sujeita.

#### 4.2. MAPAS TEMÁTICOS

Conforme apresentado nas metodologias foram gerados mapas temáticos para cada variável considerada na análise da fragilidade ambiental presente na BHRJ. Sendo

assim, foi gerado primeiramente o limite da bacia hidrográfica em questão para depois serem gerados os mapas temáticos. O limite da BHRJ foi usado para a elaboração dos mapas temáticos e estará representado, ilustrado, em cada um deles.

#### 4.2.1. Climatologia (precipitação e temperatura)

O clima regional que abrange a BHRJ é definido por Köppen como Aw – clima tropical com duas estações bem definidas: verão quente e chuvoso; inverno seco e frio.

Em termos climatológicos e meteorológicos a média de precipitação encontrada para a BHRJ, após interpolação dos dados por krigagem, girou ao entorno de 119°C a 126°C o que embora não tão significativo, se justifica usar tal variável pelo elevado potencial erosivo que as chuvas apresentam.

O método da interpolação por krigagem utilizando o modelo linear, conforme já testado por Ramos e Silva (2015), se apresenta como um modelo mais fiel, cujos resultados se aproximam mais dos dados reais (coletados em estações meteorológicas da região), para aplicação em análise de dados meteorológicos e climatológicos, como no caso da precipitação.

Quanto a média da temperatura superficial a mesma oscilou entre aproximadamente 9 e 31 °C o que já se pode apontar para uma maior contribuição/influência nas análises de fragilidade ambiental. A variação da temperatura apresentou-se mais significativa do que a da precipitação, com um intervalo de 22°C entre a temperatura mínima e máxima geradas, o que indica a incidência relativa de locais bem frios em determinada época do ano e outros bem quentes, ambos a serem analisados mais a frente em comparação com as demais variáveis, o que pode se justificar ou ser alterado.

Percebe-se então que, no geral, as variações são pequenas, tanto dos índices de precipitação quanto de temperatura, considerando a extensão da BHRJ. Porém, ambas as variáveis podem estimular e influenciar impactos negativos no ambiente acelerando processos erosivos e de intemperismos (como o físico e o químico), por exemplo.

Sendo assim, vale destacar sobre a possibilidade de se acentuar a fragilidade em determinado local que possua uma maior temperatura e maiores índices pluviométricos. Nesse sentido, o nível/grau de fragilidade aumenta à medida que se aproxime das áreas mais quentes e mais úmidas.

#### 4.2.2. Geomorfologia (hipsometria, declividade, curvatura e sombreamento)

Considerando as 4 variáveis geomorfológicas para entrada na Rede Neural: hipsometria, declividade, curvatura e sombreamento, como já exposto, obteve-se os seguintes resultados:

- **Hipsometria:** os valores identificados indicaram uma variação altimétrica entre 513 e 1037 metros, onde as maiores altitudes se encontram mais a montante da BHRJ e, as menores, mais próximo à foz do rio Jordão, à jusante da BHRJ, onde se intensifica a dissecação do relevo. Os resultados encontrados no mapa temático de hipsometria/altimetria indicaram uma variação então significativa ao longo da extensão da BHRJ com uma diferença de 524 metros de altitude distribuídos entre vales.

- **Declividade:** uma parte considerável da BHRJ possui relevo praticamente plano e/ou suavemente ondulado a ondulado, como é notável na parte mais central da bacia, em sentido à montante. Por outro lado, mais próximo à foz do rio Jordão, os vales vão se encaixando, aumentando a dissecação pela rede de drenagem, apresentando altas declividades nas margens do rio principal e de alguns dos seus afluentes. Os valores encontrados para a variável declividade na BHRJ variaram entre aproximadamente 0.6, sendo o valor mínimo, e 187, sendo o valor máximo.

A partir da inferência de que quanto mais íngreme o relevo, ou seja, quanto maior a declividade em certo local, mais suscetível a processos ambientais ligados à impactos negativos como, por exemplo, à susceptibilidade à deslizamentos de massa, erosão (seja em formato de sulcos e/ou ravinas), fragmentação e desmoronamento de blocos rochosos, escoamento superficial intensificado que pode levar a processos mais desenvolvidos e complexos de erosão como voçorocas, maior ou menor absorção de energia solar dependendo da orientação e direção a que estará voltada a face superficial que implica em maior ou menor temperatura e umidade.

Ao contrário de como é feito de costume em muitos trabalhos e estudos em fragilidade ambiental ao desenvolverem propostas para separação da declividade em classes, como é o caso de Embrapa (1979) e Ross (1994), o objetivo aqui não foi esta classificação com agrupamentos de intervalo. A não divisão dos dados em faixa faz parte da proposta, com o objetivo de entrar com esta variável na RNA e permitir que a rede por si só identifique tais classes, conferindo ela mesma as ordens, níveis e graus de fragilidade à BHRJ. Isso é feito com a interação dessa variável com as outras variáveis/informações de entrada. Os resultados podem ser conferidos também no

próximo item, onde pode-se inferir se a RNA aponta as maiores declividades como sendo locais mais frágeis que os demais.

- **Curvatura:** de um ponto de vista aplicado, essa técnica pode ser usada para descrever as características físicas de uma bacia de drenagem em um esforço para entender erosão e processos de *runoff*. A curvatura de perfil afeta a aceleração e desaceleração de fluxo e, então, influencia processos de erosão e deposição. O plano de curvatura influencia convergências e divergências de fluxo.

Contornos exibidos em cima de um raster puderam ajudar com o entendimento e interpretação de dados resultantes da execução da técnica de Curvatura.

No mapa temático gerado para essa variável foram identificados vários valores diferentes para a curvatura na BHRJ, os quais podem ser relacionados à ordem de fragilidade que considere as partes mais curvadas como as mais fragilizadas.

- **Sombreamento:** entende-se da prática que, quanto mais sombreada uma área, possivelmente estará mais sujeita também a uma menor temperatura e a uma maior umidade, podendo-se inferir daí que, se tratando em estabelecer uma ordem de fragilidade, para os dados obtidos no mapa temático de sombreamento gerado, esta área poderá ter maior fragilidade em termos de umidade. Por outro lado, a outra face menos sombreada do relevo, neste local, também terá um certo nível de fragilidade, se considerado ser seco e quente, favorecendo a processos de desertificação, por exemplo, no caso de não haver vegetação, entre outros fatores a serem considerados e analisados.

O sombreamento da BHRJ simula a posição de uma fonte de iluminação do relevo. Neste estudo, foi calculado tomando-se em conta o ângulo da fonte luminosa (Sol) no zênite e se faz importante, pois permite uma melhor visualização de aspectos do relevo até estruturas geológicas variando os detalhes de acordo com a escala adotada.

Assim sendo, os valores gerados no mapa temático foram de 0 a 180, adotando-se o pixel de 8 bit.

#### 4.2.3. Geologia (litotipos/unidades geológicas e distâncias das fraturas)

- **Litotipos/unidades geológicas:** localizada numa área de contato entre a Bacia Sedimentar do Paraná, a qual evoluiu sobre embasamento com rochas mais antigas e relevo mais plano e colinoso e a Faixa Brasília, de terrenos cristalinos com rochas

ígneas e metamórficas, a BHRJ apresenta uma diversidade geológica, de relevo e feições bem como de uso e ocupação do solo, significativas.

A partir do mapa temático e de dados de campo identificou-se que a BHRJ é composta, em sua maioria, por rochas do tipo arenito, seguidas por micaxistos, ortognaisses (Goiandira) e anfibolitos, basaltos, ortognaisses (Nova Aurora) e algumas porções de coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas, conforme ordem geocronológica, hierarquias entre outras características dispostas na tabela abaixo (Tabela 4).

**Tabela 4.** Unidades Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (MG).

<b>Idade Geológica</b>	<b>Hierarquia</b>	<b>Nome da Unidade</b>	<b>Litotipo</b>	<b>Classe de rocha</b>
65 Ma	-----	Coberturas detrito-lateríticas	Areia, cascalho, laterita, argila	Material superficial
96 Ma	Formação	Marília	Arenito	Sedimentar
135 Ma	Formação	Serra Geral	Basalto	Ígnea
642-634 Ma	Grupo	Goiandira	Ortognaisse e anfibolito	Metamórfica
790 Ma	Grupo	Araxá	Micaxisto	Metamórfica
Acima de 800 Ma	Suíte	Nova Aurora	Ortognaisse	Metamórfica

FONTES: AUTOR, 2015.

- **Fraturas:** as fraturas geológicas encontradas na BHRJ se fazem presentes principalmente na porção mais a jusante, próximo à foz do rio Jordão, na porção do relevo mais dobrada, dissecada, onde predominam rochas das unidades geológicas Goiandira (ortognaisse e anfibolito), Nova Aurora (ortognaisse), Araxá B (micaxisto) e Serra Geral (basalto). As fraturas identificadas foram de origem de Paraná e Tocantins, rumo SW, tipos de estruturas falha ou fratura, falha contracional (inversa ou empurrão) e lineamentos estruturais (traços de superfícies S), seguem, portanto, regime tectônico compressional e não determinado com ângulos norte de 0, 20, 40, 290, 325 e 350.

O mapa temático gerado mostra a distância dessas fraturas em relação aos outros pontos da BHRJ, começando com zero sobre a fratura e aumentando com o afastamento



desta. A maior distância medida foi de 1366,7 m. Espera-se que quanto mais distante dessa feição, menos frágil será o ambiente local, e quanto mais próximo, mais fragilizado.

#### 4.2.4. Pedologia

Percebeu-se que os tipos de solos identificados dentro do limite da área de estudo do presente trabalho condizem em sua maioria com suas bases geológicas sendo derivados, portanto, das rochas específicas encontradas na bacia.

O mapa temático gerado mostrou que a pedologia da bacia hidrográfica do rio Jordão consiste então em latossolos roxo e vermelho-escuro, litossolo e podzólico vermelho-amarelo distribuídos na bacia do rio Jordão.

Para cada uma das 4 classes de solos identificadas na BHRJ foi atribuído um valor que correspondem ao nível, ao grau, de fragilidade deste solo quanto à susceptibilidade à, por exemplo, erosão, intemperismos e deslizamentos.

#### 4.2.5. Distâncias das áreas urbanas

Esse mapa temático apresenta a distância das áreas urbanas, começando com zero no limite da área e aumentando à medida que afasta dele. Nessa variável, infere-se que quanto mais próximo das áreas urbanas, mais frágil se torna o ambiente, visto a pressão antrópica exercida nessas áreas por diferentes tipos e intensidades de suas atividades e explorações; e menos frágil será o ambiente ao passo que se afasta dessa feição, ou seja, à medida que a distância das áreas urbanas aumenta, diminuem-se os graus de fragilidade ambiental. A maior distância encontrada foi de 817,41 m.

Obviamente que a presença, ausência, interação ou não, dessa variável com as outras analisadas, podem alterar esta inferência, o que será experimentado nas Redes Neurais Artificiais.

#### 4.2.6. Uso e Ocupação do Solo

Os diferentes tipos de atividades antrópicas existentes na BHRJ que possam alterar a paisagem e contribuir para o aumento da fragilidade ambiental em determinadas áreas, se expressaram no mapa temático de uso e ocupação do solo, por meio das classes escolhidas.

Para avaliar a qualidade do resultado do mapa temático para esta variável, foi aplicado o índice kappa que demonstrou um valor acima de 95%, rotulando a classificação como excelente, segundo escala proposta por Landis e Koch (1977), apresentada na Tabela 5 seguir.

**Tabela 5.** Valores de concordância com base no índice kappa.

<b>Índice Kappa (K)</b>	<b>Concordância</b>
0	Pobre
0,00 a 0,20	Ligeira
0,1 a 0,40	Considerável
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Substancial
0,81 a 1,00	Excelente

FONTE: Landis e Koch (1977).

Ao findar, foi definida a ordem de fragilidade para cada uma das classes baseada em Ross (1990, 1992 e 1994); Tomás (1993); Silva (2003) e Devicari (2009), entre outros, mas com as adaptações necessárias devido à dimensão da BHRJ e suas particularidades em termos de variáveis presentes, e considerando que cada trabalho foi realizado para uma região diferente, o que não convém tomar como padrão e fazer generalizações.

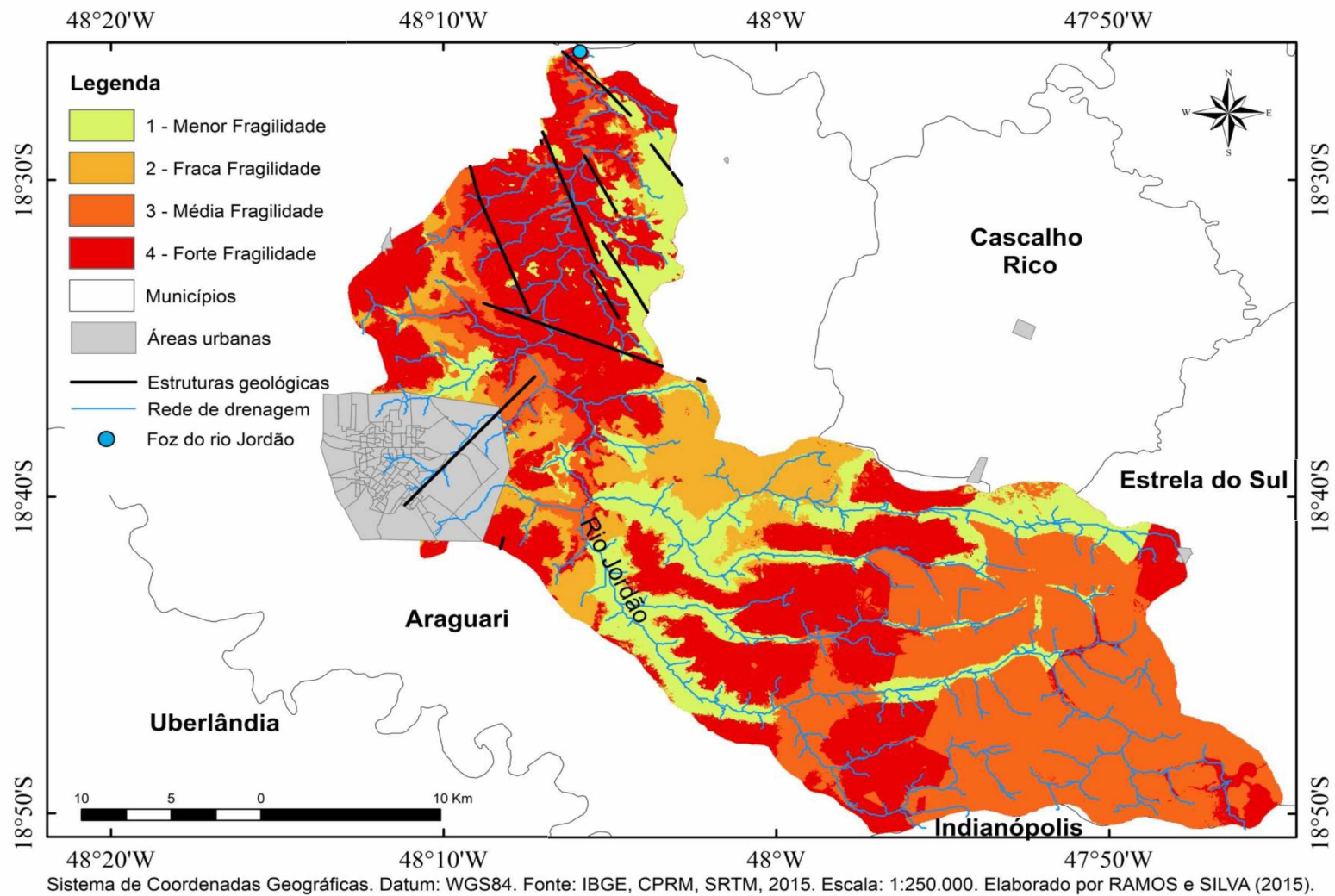
As atividades variaram bastante, predominando a silvicultura, mais a montante da BHRJ. As áreas mais preservadas se encontram mais à jusante, próximo da foz, devido, possivelmente, a maior dissecação, com relevo bem íngreme, serras e morros que por lei, exigem a preservação dos seus topos. O restante se distribui entre agriculturas, pastagens, áreas úmidas e áreas urbanas. Esta última em uma quantidade bem menor, devido ao fato da BHRJ estar localizada, predominantemente, em área rural.

#### 4.3. MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL COM USO DE RNA

Neste tópico apresenta-se o mapa resultante final com a fragilidade ambiental que foi identificada e classificada para a BHRJ (Figura 9), o qual foi elaborado a partir da junção de todas as variáveis consideradas neste trabalho com utilização da Rede Neural Artificial, acompanhado de algumas análises das áreas apontadas como: menor, fraca, média e forte fragilidade.

Para definição das amostras de treinamento da RNA, parte das variáveis foram utilizadas seguindo alguns critérios, tomando por base os estudos de Ross (1990, 1992 e 1994), Tomás (1993), Silva (2003) e Devicari (2009), e situações verificadas em campo, como no caso da variável geologia, que está relacionada com maior ou menor índice de deslizamentos e/ou erosão (Tabela 6). A contribuição das demais variáveis ficou a cargo da Rede Neural Artificial, definir e inferir o nível de fragilidade. Obviamente que o resultado foi e deve ser analisado pelo operador, preferencialmente com amostras de campo, para comparação.

**Figura 9.** Mapa Temático Resultante, com a Fragilidade Ambiental da BHRJ gerada por RNA.



FONTE: AUTOR, 2015.

Para a “geologia” a ordem de fragilidade, ordem crescente, seguindo sempre da menor para maior fragilidade encontrada, foi definida tomando-se em conta quatro fenômenos:

- Quando à idade das rochas, a ordem da fragilidade foi: 1 para Coberturas Detritolateríticas, 2 para a Formação Marília, 3 para Serra Geral, 4 para Goiandira, 5 para Araxá e 6 para Nova Aurora.
- Quanto a susceptibilidade à erosão: 1 – basalto, 2 – gnaisse, 3 – xisto e 4 – arenito e 5 – coberturas lateríticas.
- Quanto ao risco de deslizamentos: 1 – arenito, 2 – basaltos, 3 - xistos e gnaisses (sendo os xistos mais frágeis que os gnaisses) e 4 – coberturas lateríticas.
- Quanto ao intemperismo químico: 1 – coberturas, 2 – arenitos, 3 – gnaisses, 4 – xistos e a mais frágil, 5 – basalto.

**Tabela 6.** Demais variáveis com suas respectivas ordens de fragilidade.

Variável	Fenômeno	Variável	Fenômeno
<b>Uso e ocupação do solo</b>	<b>Graus de Proteção Dados ao Solo pela Cobertura Vegetal Face à Ação das Águas Pluviais.</b>	<b>Solo</b>	<b>Erodibilidade/movimentos de massa quanto exposto às águas pluviais</b>
mata nativa	1	latossolo roxo	1
Silvicultura	2	latossolo vermelho-escuro	2
agricultura (cultivo de ciclo longo), pastagem	3	Litossolo	3
agricultura (cultivo de ciclo curto), complexo urbano, solo exposto, áreas úmidas	4	podzólico vermelho-amarelo	4

FONTE: AUTOR, 2015.

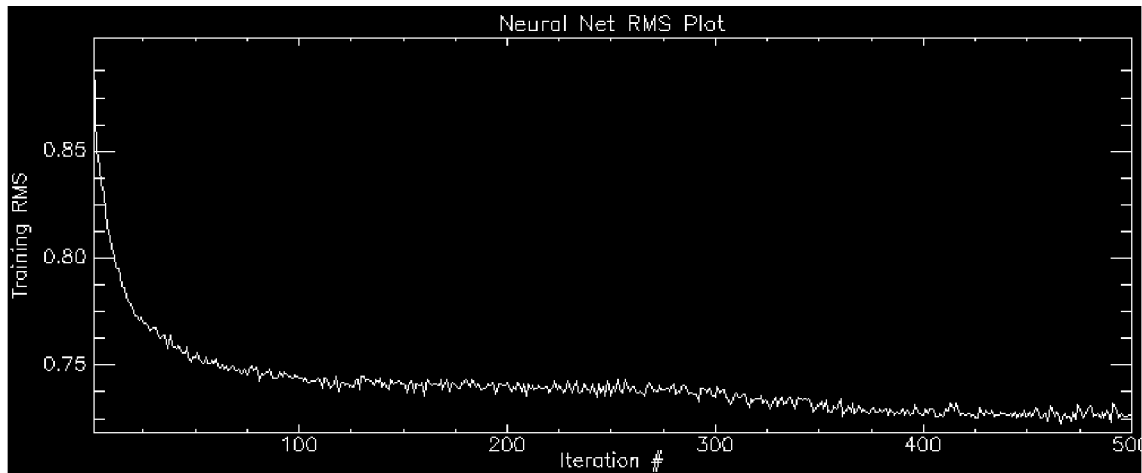
Como já citado foi utilizado o software ENVI 5.0 para aplicação e uso da RNA, a qual foi configurada para o objetivo aqui proposto.

Após testes empíricos, foi definido o valor de 500 iterações. Foram feitos diversos testes alterando o número de iterações, com os valores de 300, 400, 500, 600, 750 e 1000. Percebeu-se que ocorria a convergência, ou seja, a busca se estabilizava para valores acima de 500 iterações, não havendo necessidade para utilizar valores maiores que este, nem fazer outros testes. Por isso, optou-se por manter e realizar 5 experimentos, com o mesmo valor de 500 iterações, pois cada vez que a RNA é

processada um novo resultado é obtido, devido ao método da retropropagação e variação aleatória dos pesos.

Foi possível perceber visualmente as convergências pelos gráficos, “plots” gerados. Assim, foi escolhido o melhor gráfico (Figura 10) de acordo com o menor valor do RMS para avaliação dos resultados, aproximadamente 0,65.

**Figura 10.** Plot gerado pela RNA com valores para RMS e número de Iterações.



FONTE: AUTOR, 2015.

O mapa temático resultante da RNA (Figura 9) aponta uma área considerável da BHRJ como frágil. Foram escolhidas as cores de forma que cores mais quentes, vermelho forte e laranja mais escuro, representassem as áreas mais fragilizadas, já que são usadas geralmente para se remeterem às áreas de risco, áreas perigosas, e conforme se diminui o grau de fragilidade a intensidade das cores também diminuem, passando de média a fraca fragilidade, ou seja, do laranja ao amarelo. Existem áreas com alto índice de fragilidade, sendo pouco resistentes quanto à vulnerabilidades e processos já citados, como, erosão dos solos, deslizamentos e movimentos de massa, intemperismos químicos e físicos, entre outros.

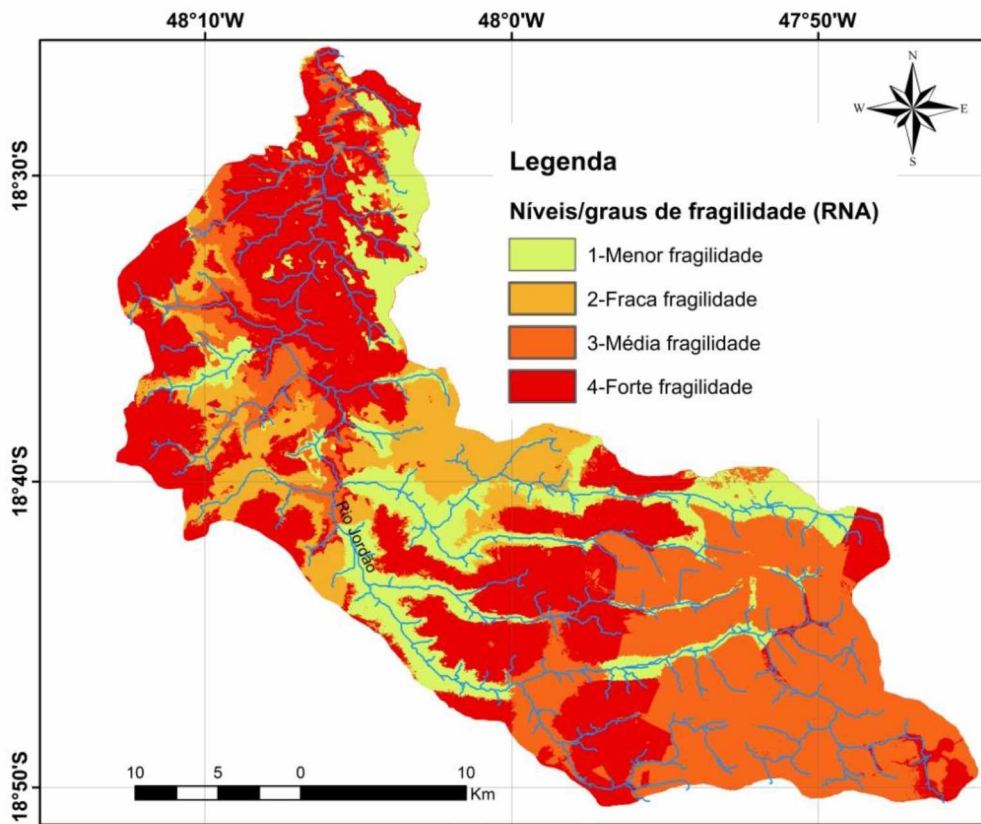
O resultado conforme Figura 9 indica que a área mais frágil, com índice 4 de fragilidade, corresponde a aproximadamente 39% do total da área da BHRJ, o que infere que a maior parte da bacia pode encontrar-se fragilizada segundo RNA. As demais áreas se dividem em aproximadamente: 31% fraca fragilidade, 16% menor fragilidade e 12% média fragilidade.

A partir deste resultado é possível fazer uma análise comparando o mesmo com as variáveis utilizadas afim de avaliar o tratamento dado pela RNA

#### 4.4. INTERAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS E FATORES USADOS PARA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL

Para uma análise mais apurada dos resultados comparou-se aqui cada variável com o mapa temático de fragilidade ambiental resultante para a BHRJ, gerado com uso de RNA.

**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA

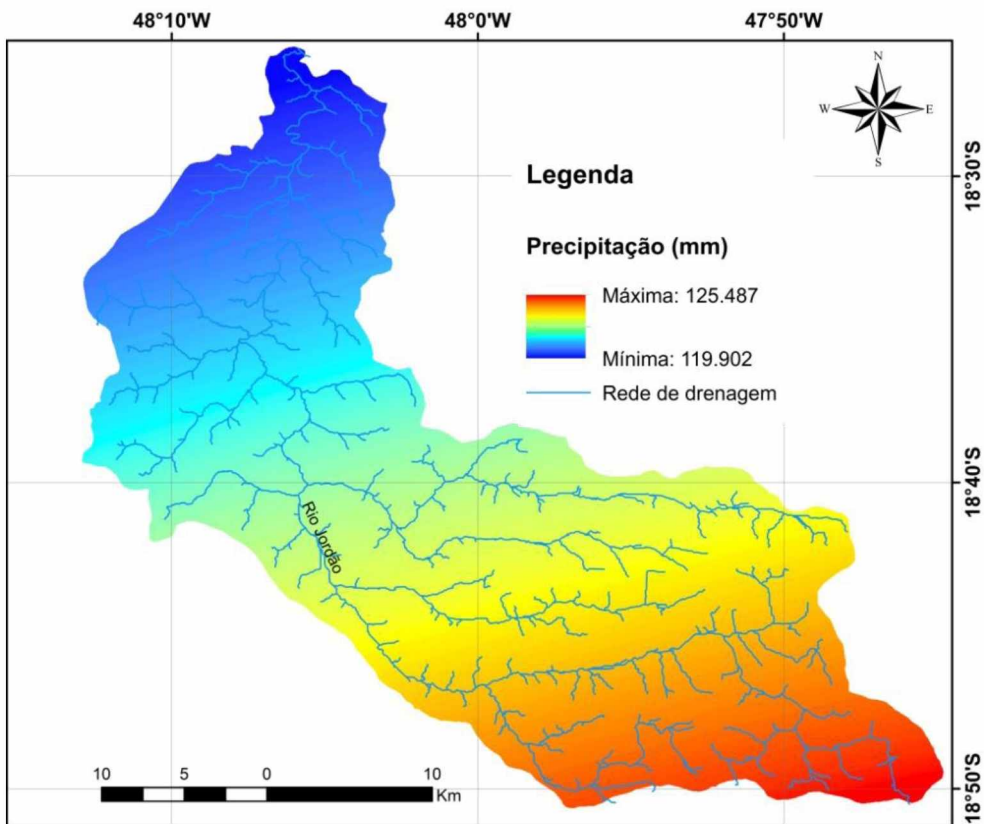


SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.



**Figura B. Média de Precipitação na BHRJ**



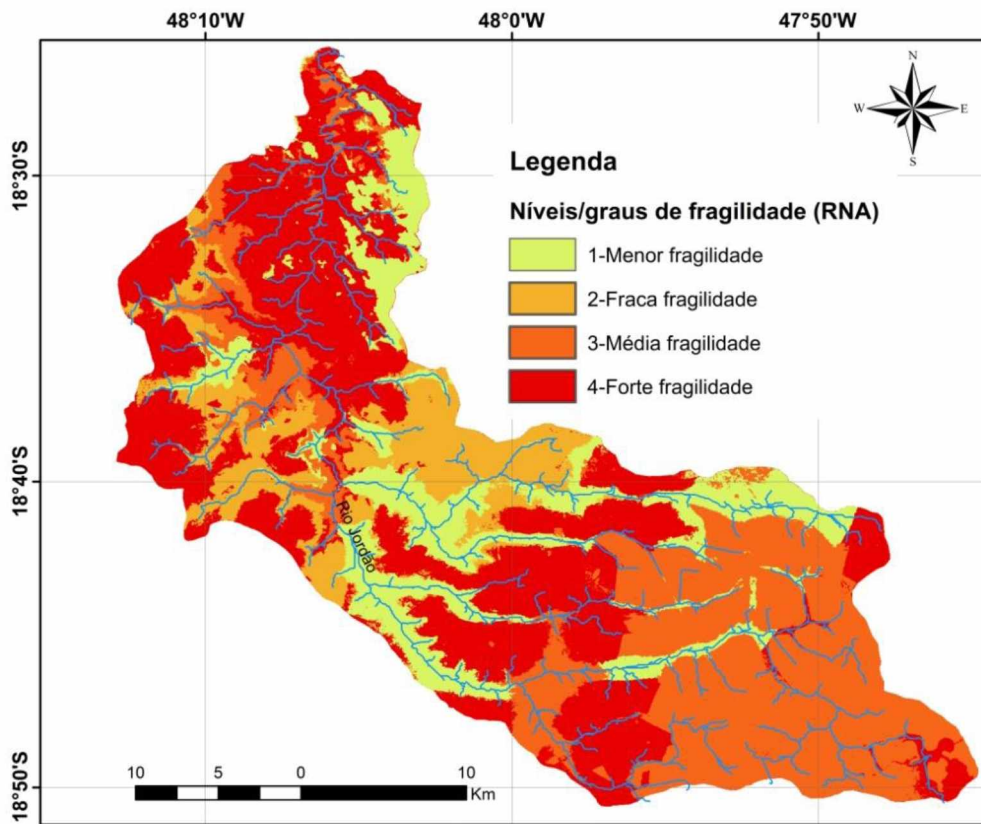
FONTE: INMET e IBGE. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

Com relação à precipitação média na BRHJ, interpolada para um período de 25 anos, a fragilidade ambiental surgiu de modo indiferente já que indica áreas muito frágeis e medianamente frágeis nos mesmos locais onde os índices de precipitação ora são máximos ora mínimos. Isso demonstra pouca influência da variável no resultado final podendo não ser considerada uma variável de alto peso na determinação da fragilidade ambiental e quando da sua ausência o resultado não teria grandes alterações.

Porém, sendo a RNA um método inteligente e cujo objetivo de seu uso foi justamente fazer inferências distintas a partir do processamento de todas as variáveis em conjunto, considerando-se a complexidade do sistema ambiental presente na BHRJ, uma outra análise possível de ser feita aqui é que, mesmo nas áreas onde o índice de precipitação é menor, pode ocorrer incidência de variáveis com pesos maiores e mais fortes se tratando de fragilidade, como é o caso de se ocorrerem fraturas geológicas, presença de solos mais pobres, rasos e desprotegidos, rochas mais vulneráveis, declividades maiores, temperaturas maiores, entre outras que juntas tornam a área muito mais instável e fragilizada, por menos úmida que seja. Sem contar que, devido a pequena dimensão em tamanho da BHRJ, a variação pluviométrica encontrada foi mínima, praticamente insignificante a fins de estudo de fragilidade ambiental, variando em um total de aproximadamente 6 mm entre o ponto onde se choveu mais e o que se choveu menos até 2015.

Pode se analisar a situação também pelo lado de que nem sempre as áreas mais úmidas, com maiores índices pluviométricos são as que estão sujeitas à maior fragilidade, vai depender de uma segunda variável predominante e mais forte. As áreas com menores índices pluviométricos podem ser consideradas frágeis, se levar em conta que é possível ocorrer processos de desgaste, erosão e até fenômenos como as queimadas se o local estiver muito seco, ainda mais se tratando de cerrado e de uma região com estações bem definidas, sendo uma delas de clima seco. O bioma cerrado tem sofrido problemas graves com relação a queimadas. E, também, se a análise for feita sob um viés de que solo exposto e rochas mais frágeis, por exemplo, submetidos à intensa e direta radiação solar estão vulneráveis, sujeitos, a fraturas, ravinas, infertilidade, entre outras consequências decorridas da ausência de chuva associada à outras variáveis como direção e intensidade do vento e taxa de infiltração da água, as quais não foram abordadas aqui, mas podem ser consideradas em trabalhos futuros.

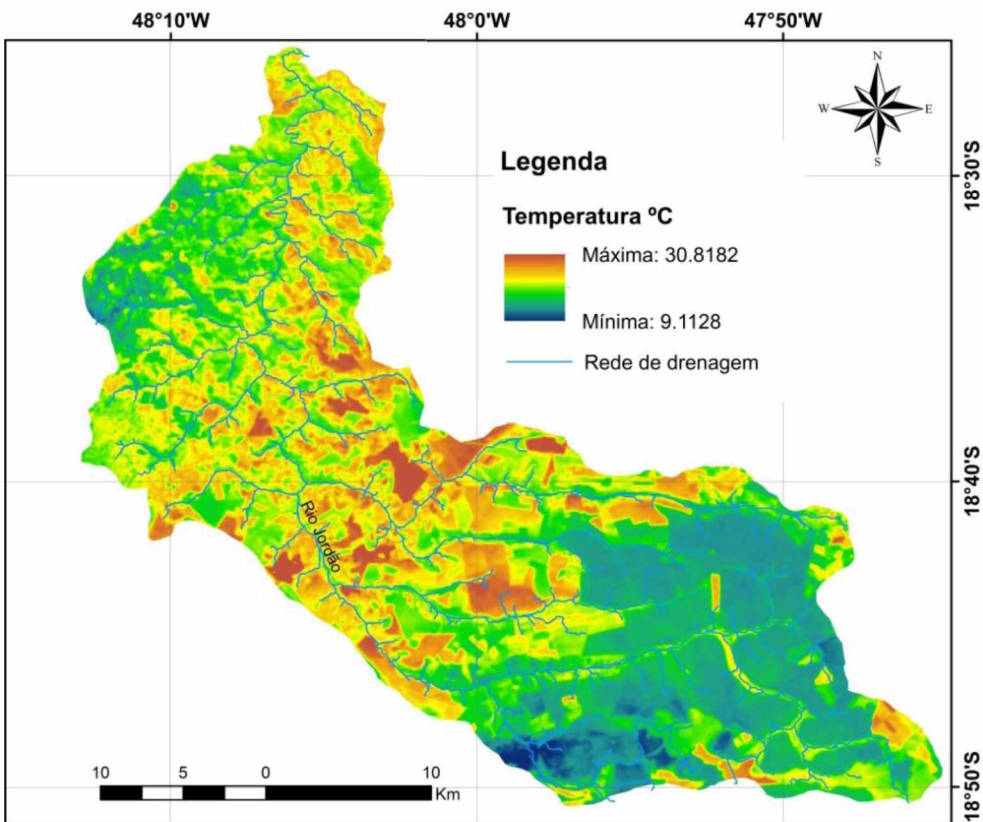
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

**Figura C. Temperaturas na BHRJ**



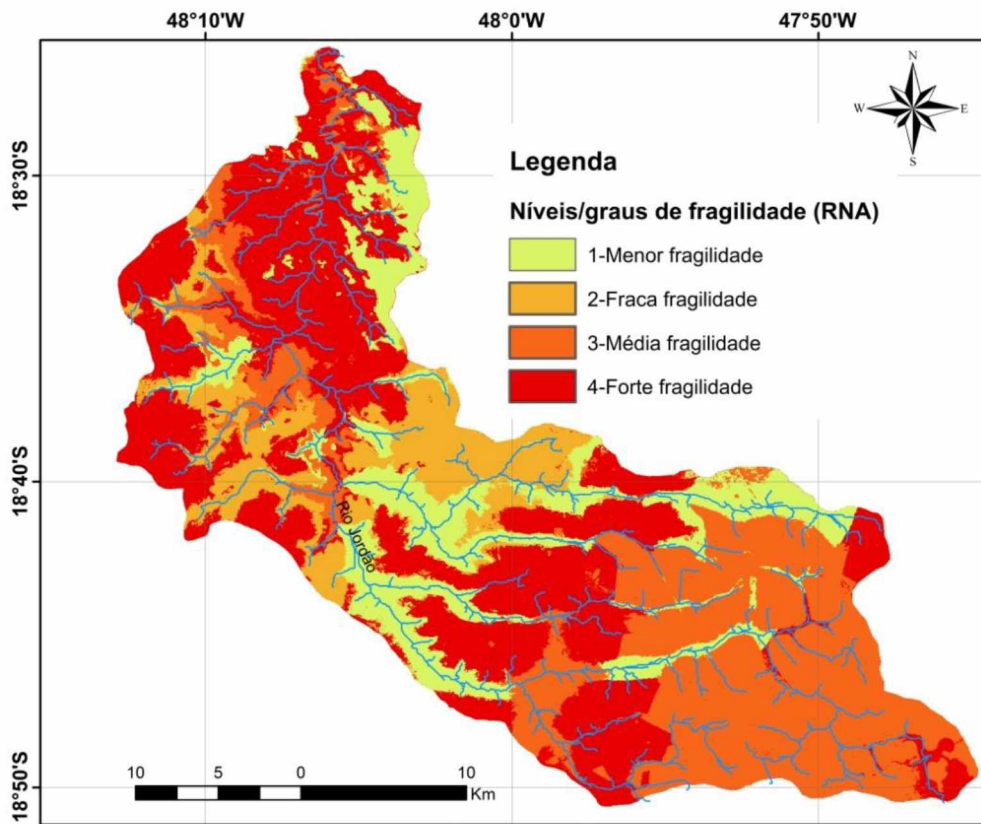
**FONTE:** Landsat 8. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

A partir da análise comparativa entre as Figuras A e C é possível inferir que, por mais que a variação entre os valores da temperatura mínima e da máxima tenha sido significativa, aparentemente a temperatura não foi considerada pelas Redes Neurais uma variável de grande peso na determinação da fragilidade ambiental da BHRJ, assim como ocorreu com a variável precipitação, e talvez o motivo seja justificado pelos mesmos fatores analisados no item anterior. Uma vez que, onde as temperaturas são maiores deduz-se que tais condições favorecem mais a processos de intemperismo químico, por exemplo, entre outros, associados ou não com a presença de água. Mas, temperaturas mais amenas podem por outro lado manter a umidade do solo por exemplo, o que também pode ser um motivo para as áreas com temperaturas mais baixas se tornarem frágeis, ainda mais se a taxa de infiltração for alta, correndo-se o risco de movimentos de massa e erosão quando combinado as altas taxas de precipitação ainda mais se houver ocupações antrópicas irregulares, ou baixa, ocasionando encharcamentos, alagamentos, etc.

Onde as temperaturas são maiores, porção mais central da BHRJ conforme Figura C, a fragilidade predominante é de menor à fraco grau, de 1 a 2, com pequenas manchas de instabilidade que conferiram maior fragilidade, mas também existem indícios de altas temperaturas ao longo do rio Jordão, mais do meio até sua foz, no sentido em que se aumenta o nível de fragilidade passando por 3 e chegando à 4.

Por serem variáveis contínuas que dependem de uma área espacial considerável para exercerem maior influência, é que talvez não foram diretamente equivalentes ao resultado da fragilidade, por se tratar de uma micro bacia com 94195 m<sup>2</sup> de área necessitando maiores análises e inferências.

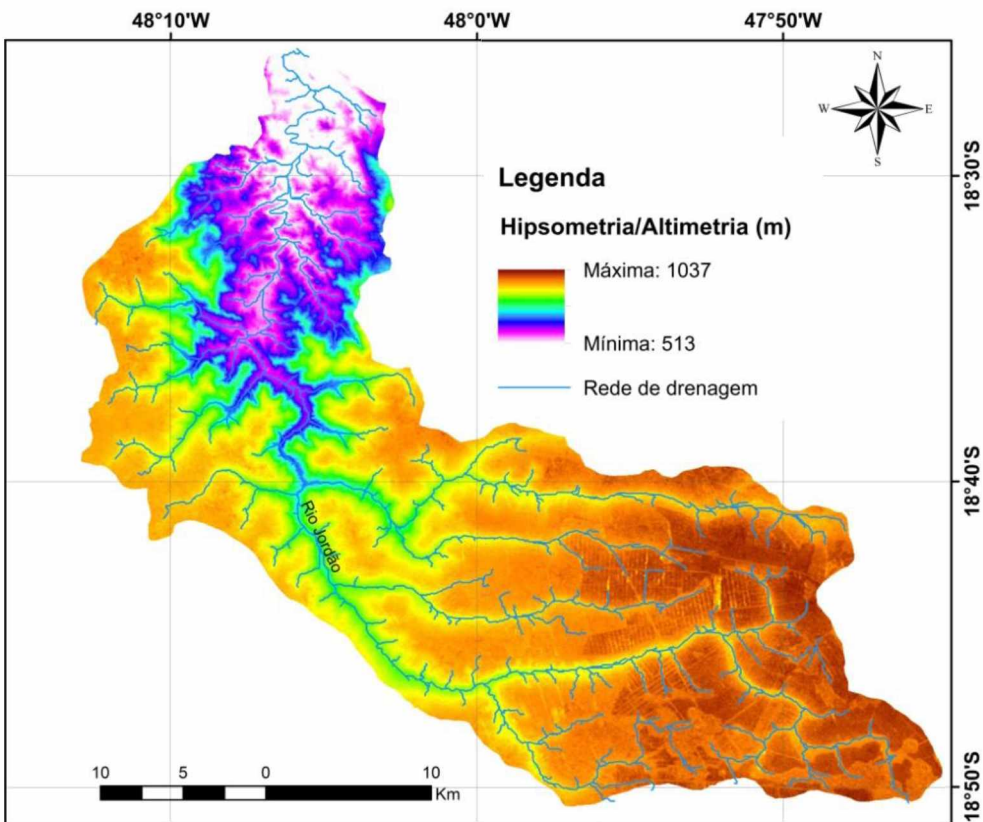
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

**Figura D. Hipsometria da BHRJ**



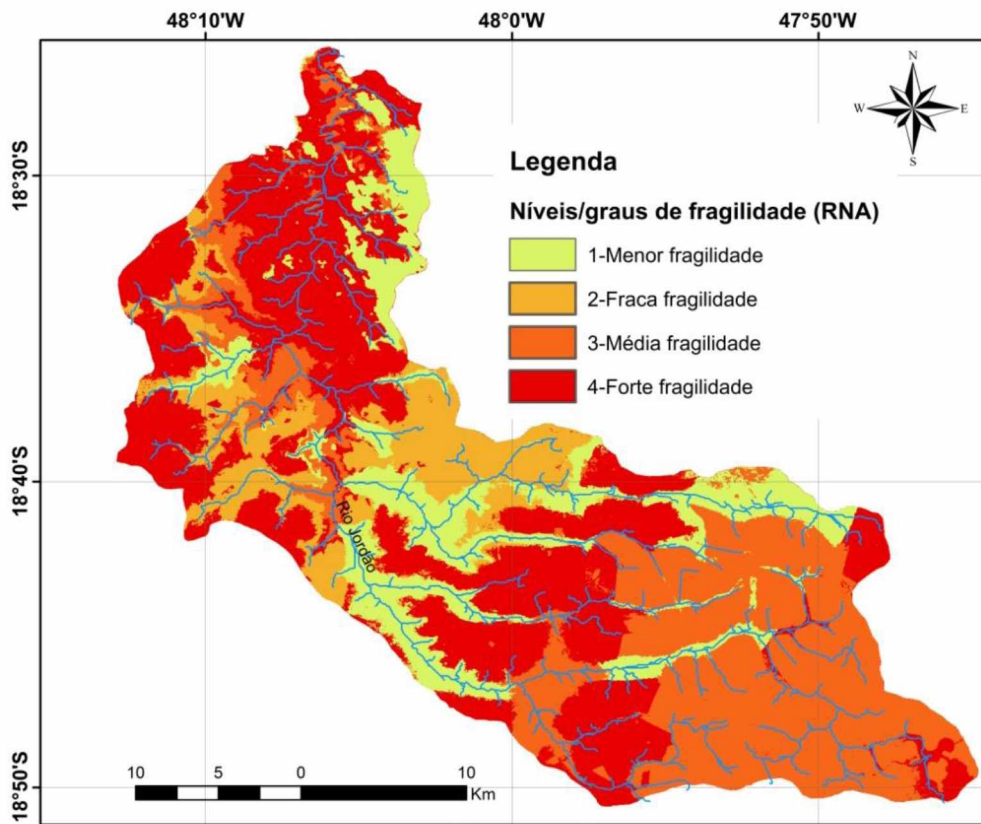
FONTE: SRTM. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

Analisando a Figura A com a Figura D observou-se que as partes com menores altimetrias, mais próximo a foz do rio Jordão, correspondem à áreas com forte fragilidade, mas também com uma pequena porção de menor fragilidade. As áreas com menor e fraca fragilidade, índices 1 e 2 da Figura A respectivamente, coincidem com os valores médios de hipsometria da Figura D e as partes com média e forte fragilidade (Figura A), à oeste da BHRJ e na porção montante, correspondem as áreas com maiores altitudes que estão localizadas próximo às nascentes do rio Jordão, onde predomina, no caso da montante da BRHJ, a silvicultura como será visto mais a frente.

Quanto menores as altitudes mais sujeitas a deposição e sedimentação de materiais e resíduos diversos comprometendo a área seja por assoreamento dos corpos d'água, e pela contaminação e poluição concentrada provenientes de diversas áreas da bacia, gerados por atividades antrópicas que vão estar ligadas ao uso e ocupação do solo, principalmente à agricultura que se faz presente em grande quantidade da BHRJ, principalmente nas partes mais altas, com intensidade que se acentua no sentido da parte central à montante, e de áreas urbanas também localizadas nas partes mais acima do baixo curso do rio Jordão (jusante), como no caso da área urbana de Araguari e de Dolearina, os quais vão convergir ao leito principal do rio Jordão e vão ser transportados e acumulados nessas áreas mais “baixas”, no caso, caminhando no sentido à foz do rio Jordão, no Paranaíba, acompanhando assim a drenagem da bacia.



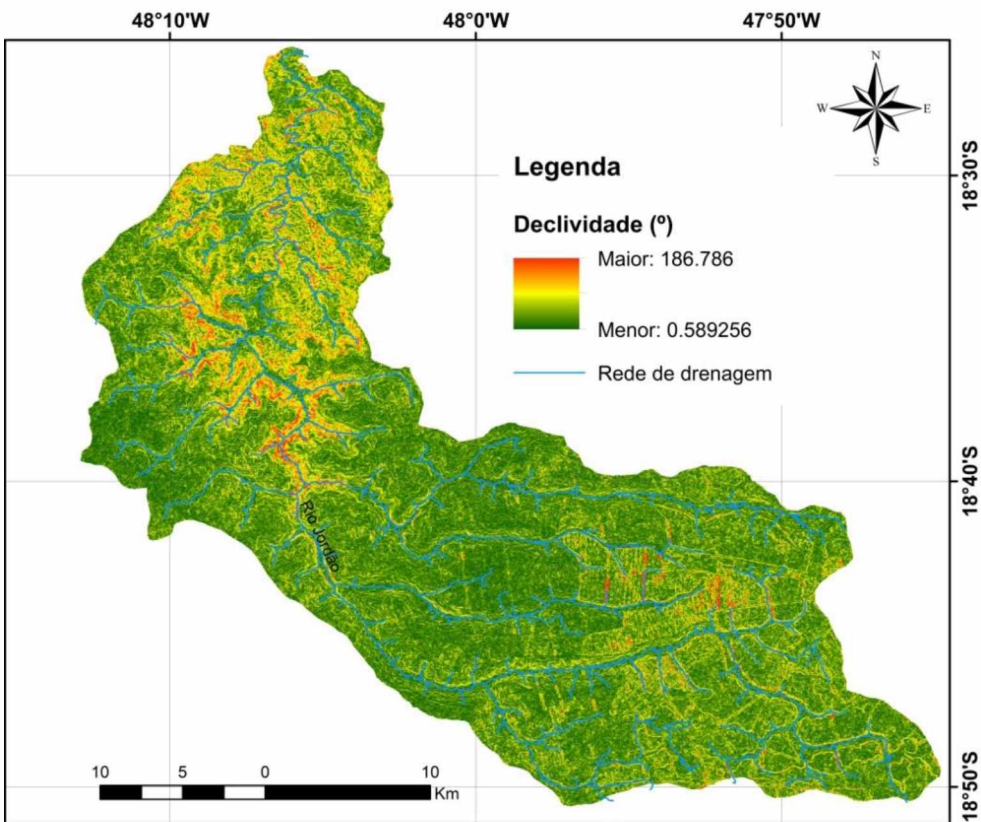
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 015.

**Figura E. Declividades da BHRJ**

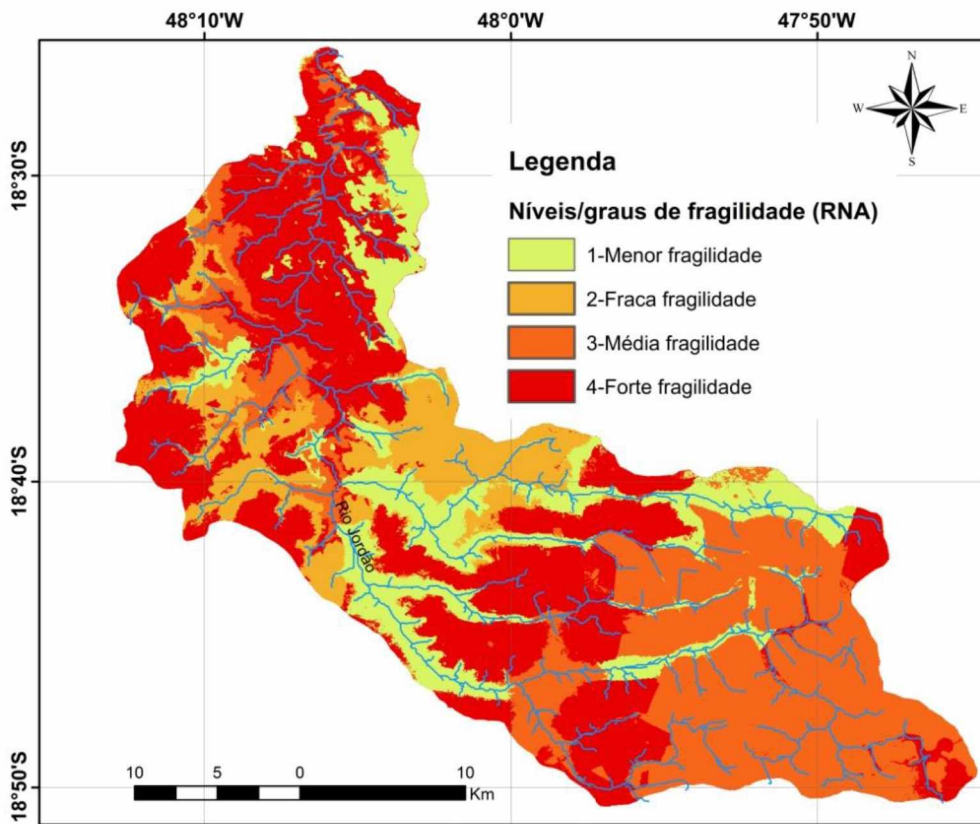


FONTE: SRTM. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

A declividade exerce papel importante na determinação da fragilidade ambiental já que áreas mais íngremes, com desníveis e inclinações acentuadas, favorecem processos erosivos, de carreamento de solo, deslizamento de encostas, deposição, degradação, sedimentação e acumulação de materiais, assoreamentos, entre outros que comprometem a qualidade e disponibilidade dos recursos naturais e de vida do ser humano, ainda mais se houver ocupações antrópicas irregulares, por isso mesmo, são áreas protegidas por Lei.

Pelas Figuras A e E percebeu-se então que a RNA identificou bem sua importância conferindo níveis maiores de fragilidade às áreas com maiores declividades. Devido à escala ajustou-se uma melhor paleta de cores para ilustrar as variações de declividade na Figura E o que ainda sim não transparece muito bem, porém, focos na cor amarela e vermelha coincidem basicamente com as áreas de média e forte fragilidade representadas na Figura A ao passo que a cor verde, predominante na parte central da BRHJ, abrange áreas com menor e fraca fragilidade, claro, salvando algumas exceções, como é o caso da área urbana de Araguari, que por ser predominantemente mais plana recebeu a coloração verde, mas não quer dizer que a mesma não seja frágil, pois a mesma área recebeu índice 4, forte fragilidade, o que é bem destacado na Figura A.

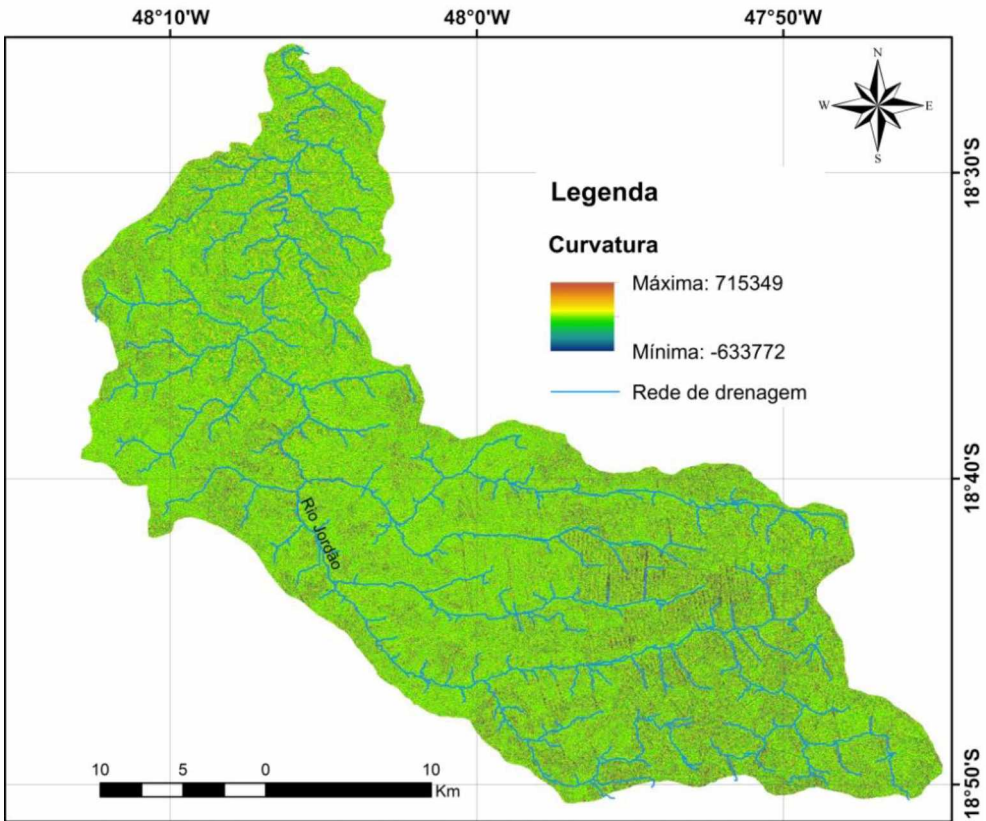
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

**Figura F. Curvaturas na BHRJ**

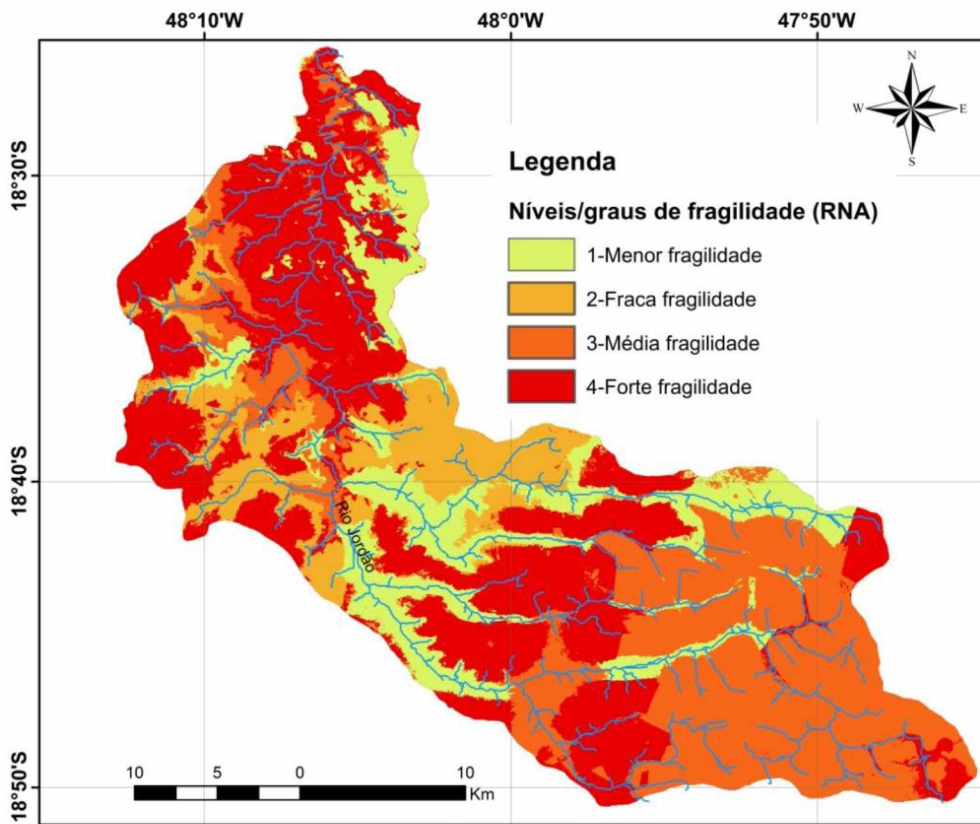


FONTE: SRTM. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

A curvatura assim como a declividade, hipsometria e sombreamento, é uma variável geomorfológica que foi considerada aqui para saber qual o seu grau de influência pela RNA para a determinação da fragilidade ambiental na BRHJ.

Assim, os valores encontrados foram significativos, porém, devido a escala adotada e as peculiaridades desta variável a análise visual pelas duas Figuras, A e F, se torna mais difícil. O que não impede de notar que os valores maiores de curvatura, representados pelas cores mais escuras, aparentemente coincidiram em sua maioria, com locais mais próximos dos cursos d'água, conforme se acentua a rede de drenagem.

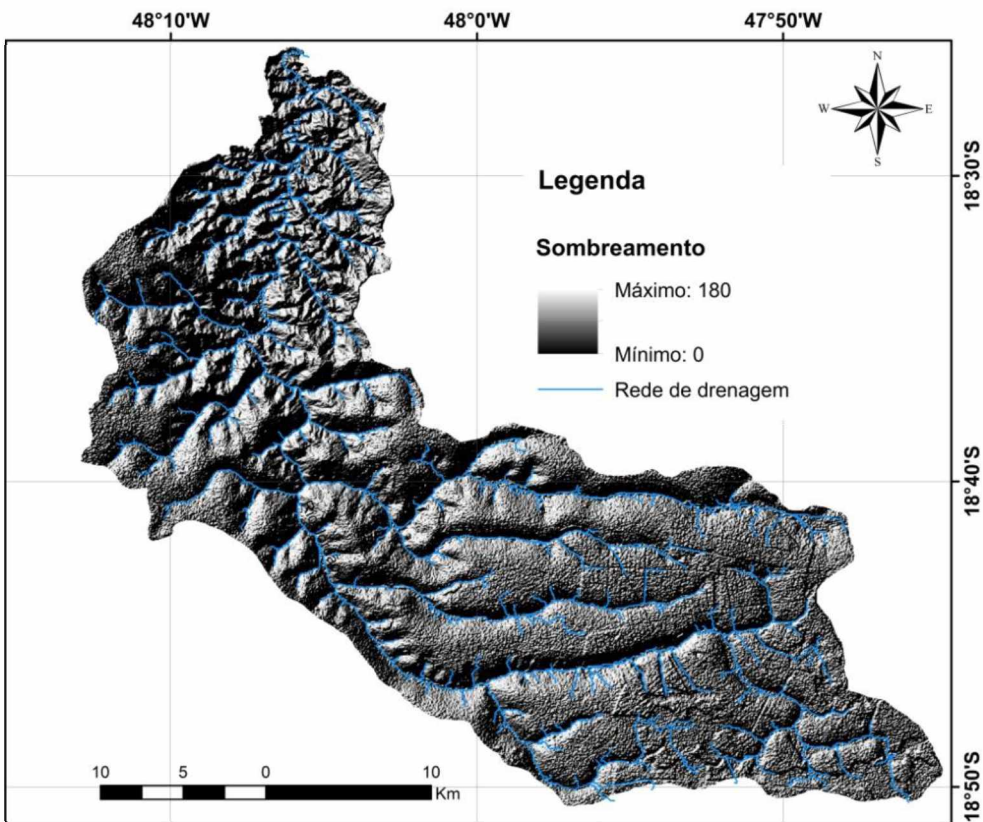
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

**Figura G. Relevo Sombreado da BHRJ**

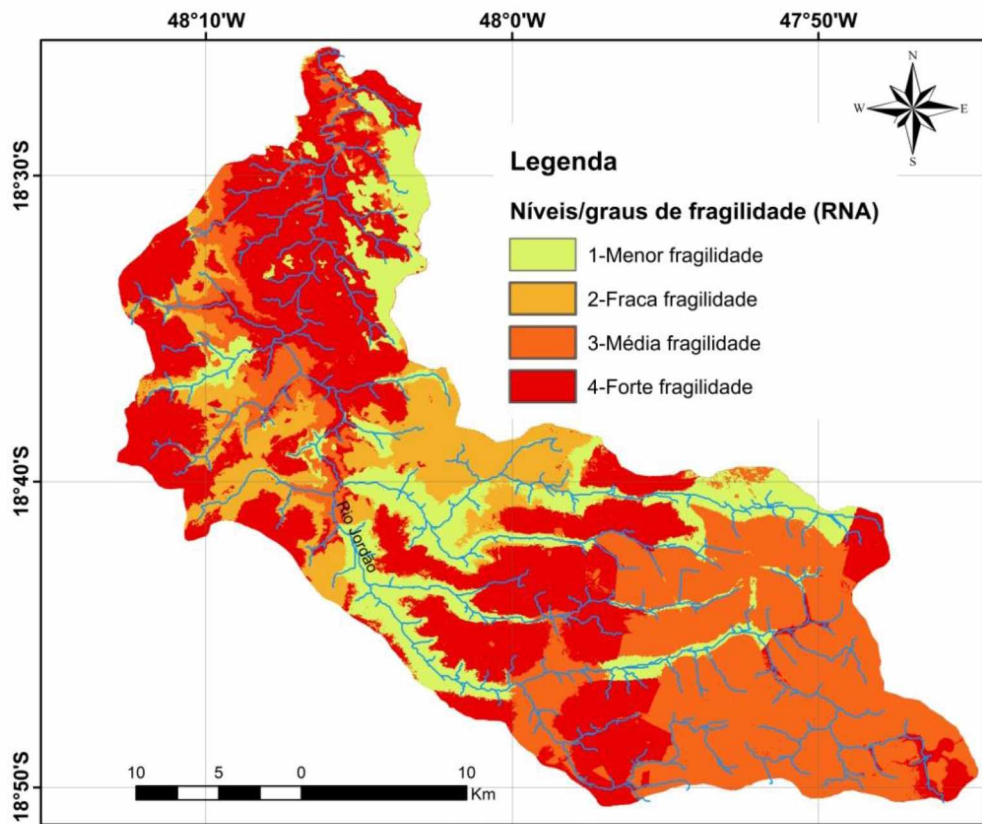


FONTE: SRTM. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).



O sombreamento determinado para a BHRJ coincide com a drenagem, a medida que se encaixam mais os vales e se acentuam as declividades próximo aos cursos d'água, a incidência da luminosidade do sol não consegue alcançar certas áreas, o que acaba tornando as áreas mais passíveis de umidade, logo, mais sujeitas a processos intempéricos. Uma ressalva importante é quanto da relação dessa variável com o desenvolvimento da flora na BHRJ, uma vez que certas plantas necessitam mais de luz enquanto outras necessitam menos ou se desenvolvem em áreas totalmente sombreadas. Comparando-se as duas Figuras, A e G, ambas possuem certa similaridade no sentido de que, quanto mais estreito e menor os cursos d'água menor o sombreamento e logo, menor fragilidade.

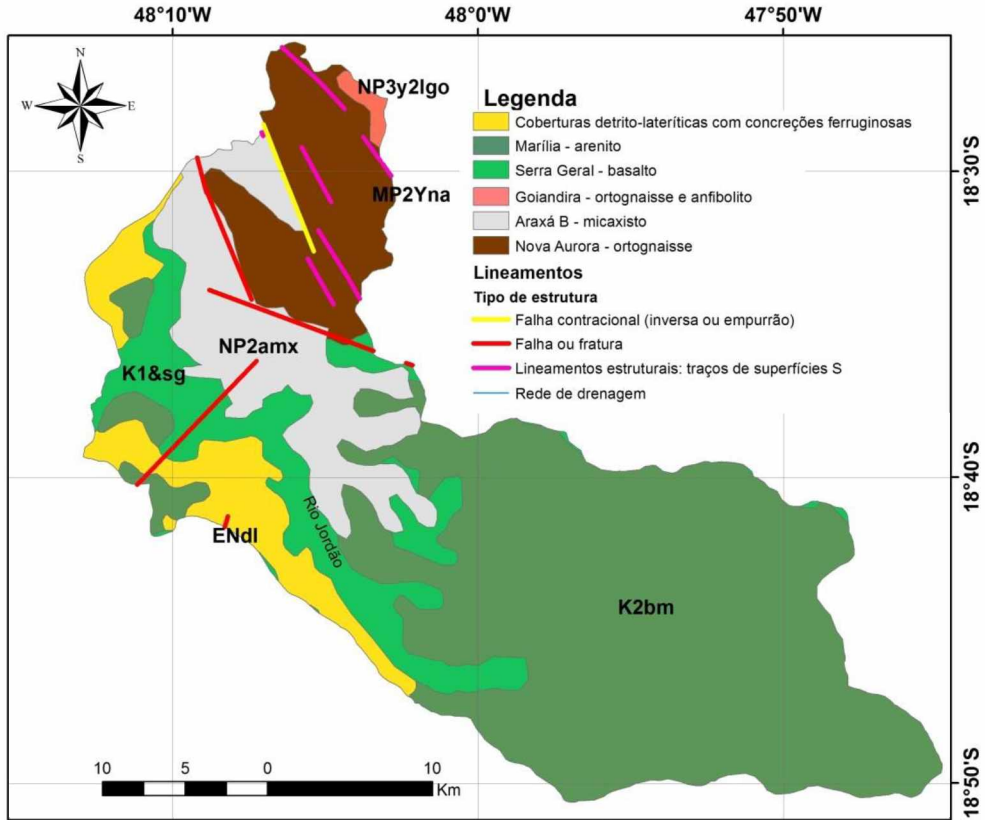
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

Figura H. Geologia da BHRJ

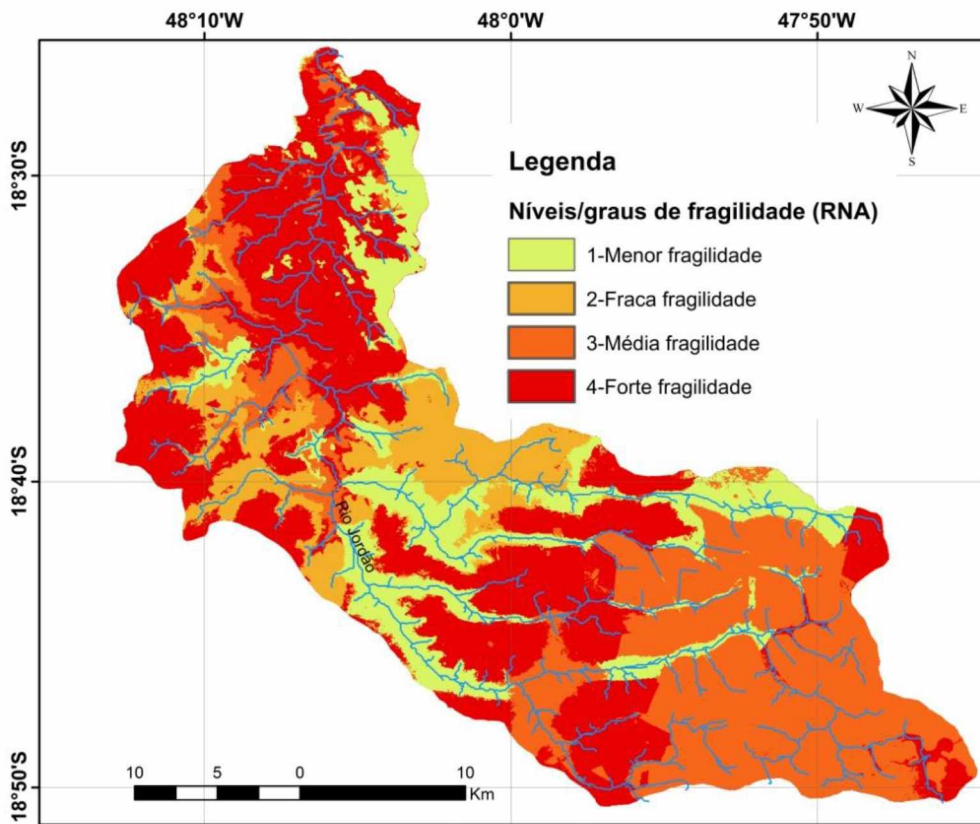


FONTE: CPRM. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

Para conferir melhor visualização e assimilação da geologia que ocorre na BHRJ por profissionais da área entre outros, foi adotada a convenção internacional da Tabela Estratigráfica Internacional da Comissão Internacional sobre Estratigrafia (International Commission on Stratigraphy - ICS).

A variável geologia, como pode ser visto na Figura H, coincidiu bastante com a fragilidade ambiental apresentada na Figura A. Como exemplo tem-se alto índice de fragilidade a jusante da bacia ao passo que neste local se encontraram também as rochas mais vulneráveis, devido, sobretudo, sua idade entre outros fatores.

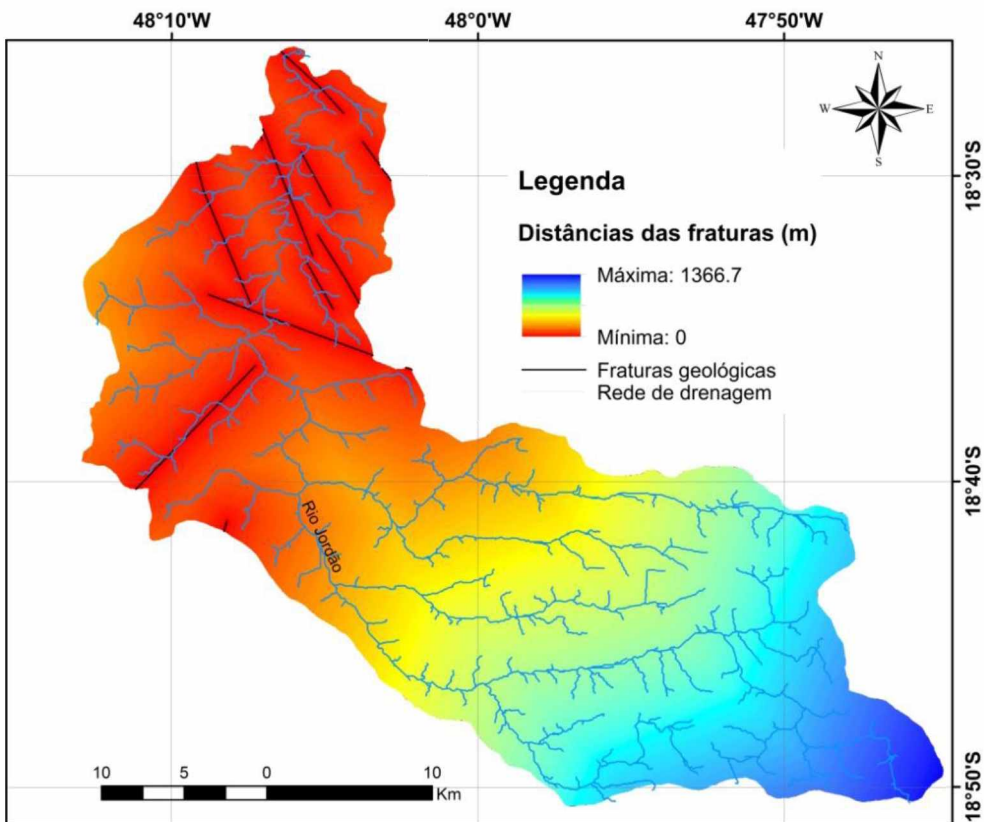
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

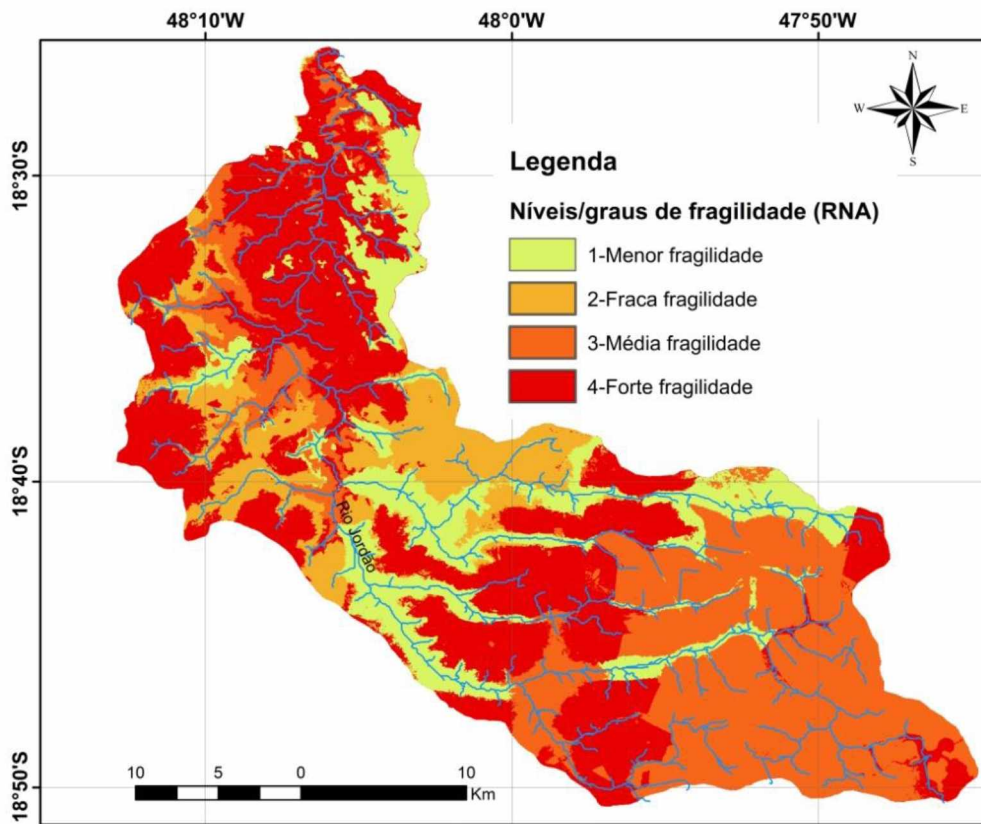
**Figura I. Distâncias das Fraturas da BHRJ**



FONTE: CPRM. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

A presença de fraturas geológicas na BHRJ como pode ser observado na Figura I é um fator que influencia na fragilidade ambiental. Comparando-se o mapa resultante (Figura A) com o mapa das distâncias das fraturas percebe-se certa relação das áreas que contém as fraturas com uma parte da BHRJ mais frágil. Por isso, adotou-se a coloração mais avermelhada para ilustrar essa região visto que a incidência dessas fraturas pode agravar riscos e comprometer o ambiente naquele local e ao seu entorno adotando-se aqui então a cor vermelha como indicio de risco, alarme, e uma área mais crítica a ser pensada e estudada com maiores detalhes.

**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA

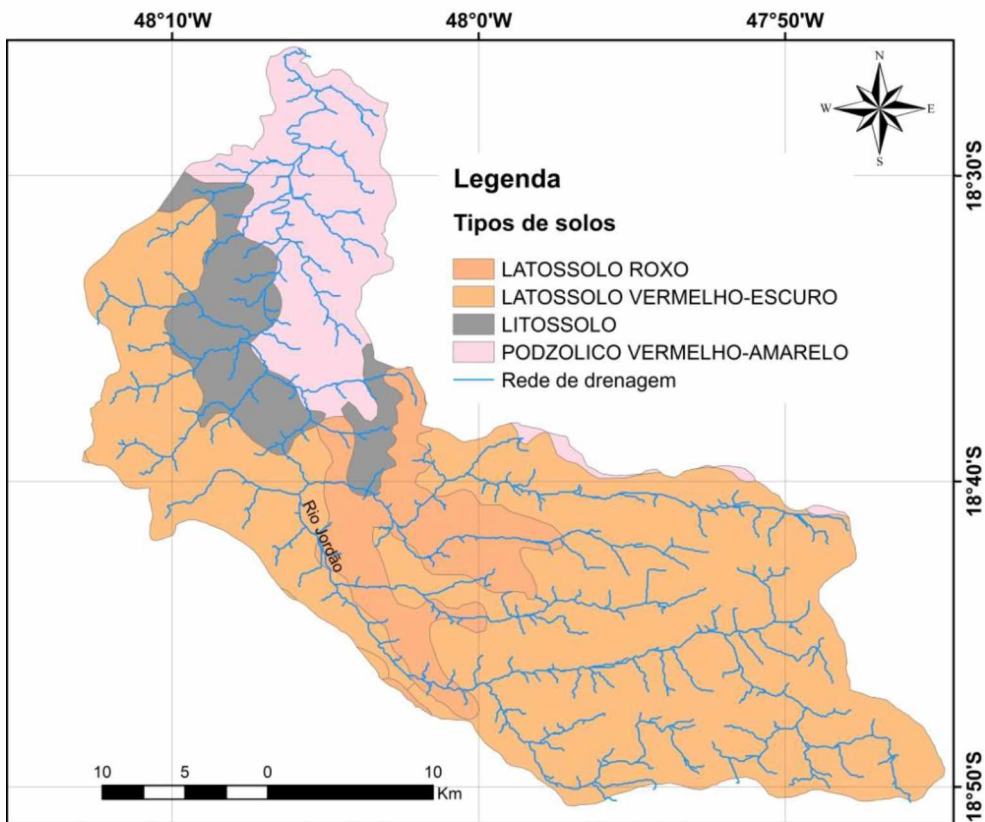


SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.



**Figura J. Pedologia da BHRJ**

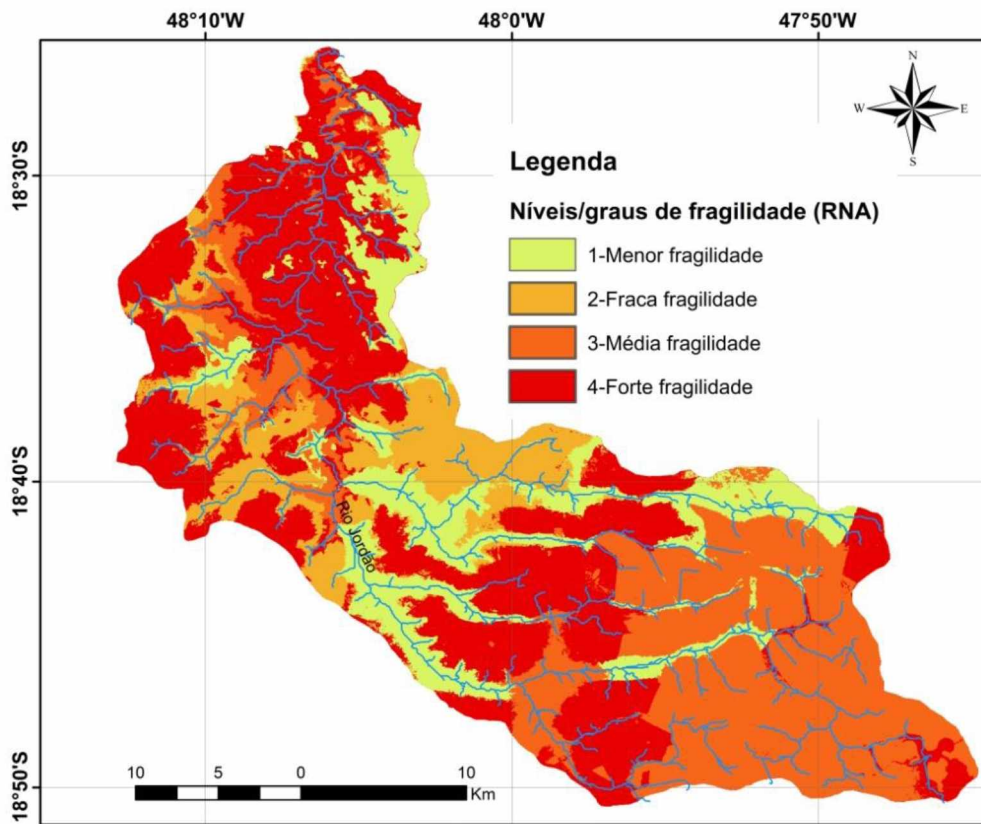


FONTE: Geominas. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

Em uma visão geral é possível estabelecer comparações entre determinadas classes de solo (Figura J) com a fragilidade (Figura A). Primeiramente, as cores adotadas para a pedologia foram estabelecidas conforme convenções internacionais para padronização. Assim, percebeu-se que a relação não é muito forte, por mais que seja possível notar que os solos para os quais foram considerados níveis de fragilidade maior, como o litossolo e o podzólico vermelho-amarelo, coincidiram com as faixas vermelho escuro do mapa de fragilidade que também apontam para áreas mais frágeis, enquanto que para os demais não se pode afirmar o mesmo já que latossolos são mais profundos, bem formados, com estruturas e horizontes consolidados a mais tempo, o que, logo, deveriam conferir menor fragilidade sendo estes solos mais resistentes aos processos intempéricos e o que não foi compatível com o mapa de fragilidade uma vez que aparecem nas áreas correspondentes, faixas de maior fragilidade.

Por outro lado, isso não implica que a RNA tenha se equivocado quanto a esta variável muito menos que não seja válida e eficiente nos estudos em questão. Ao contrário, pode-se inferir também que as redes podem ter identificado porções de latossolos expostos, sem cobertura vegetal, ou sobre uma área de grande instabilidade, fraturada, com rochas em processo de degradação e intemperismos, ou em áreas com declividades muito altas, que recebam muita radiação solar e/ou que sejam mais úmidas, por exemplo, entre outros fatores e variáveis que acabam tornando os solos, antes resistentes, agora mais vulneráveis, logo, causando certa fragilidade neste local.

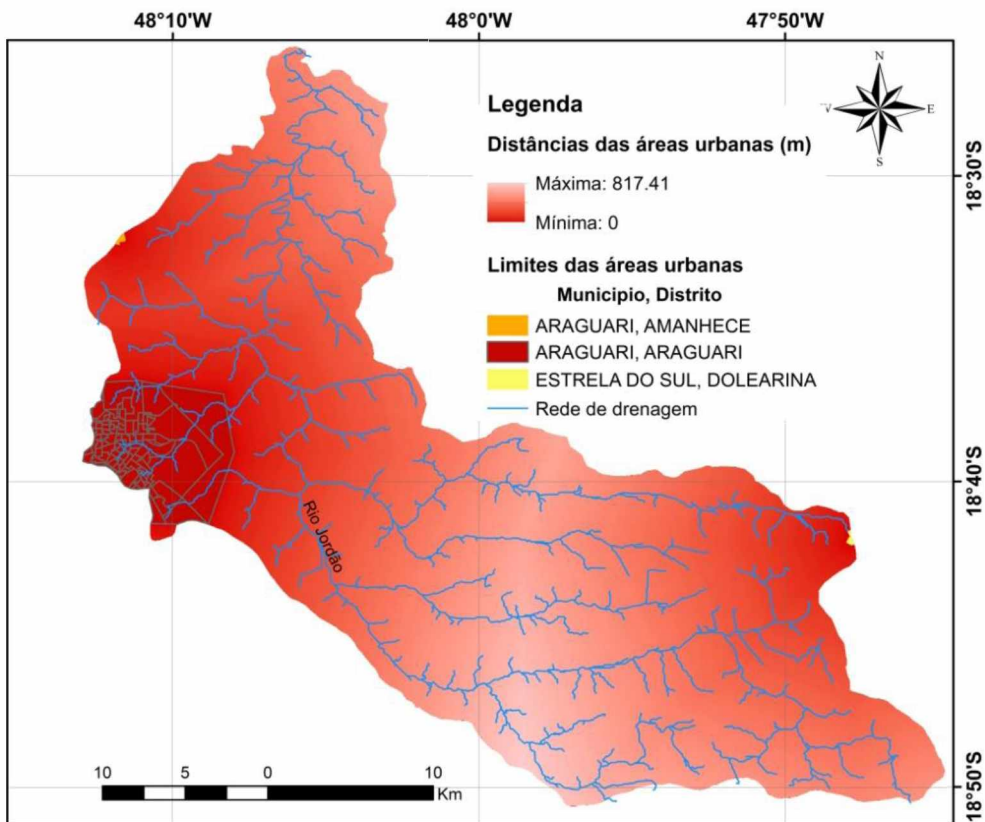
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

**Figura K. Distâncias das Áreas Urbanas da BHRJ**

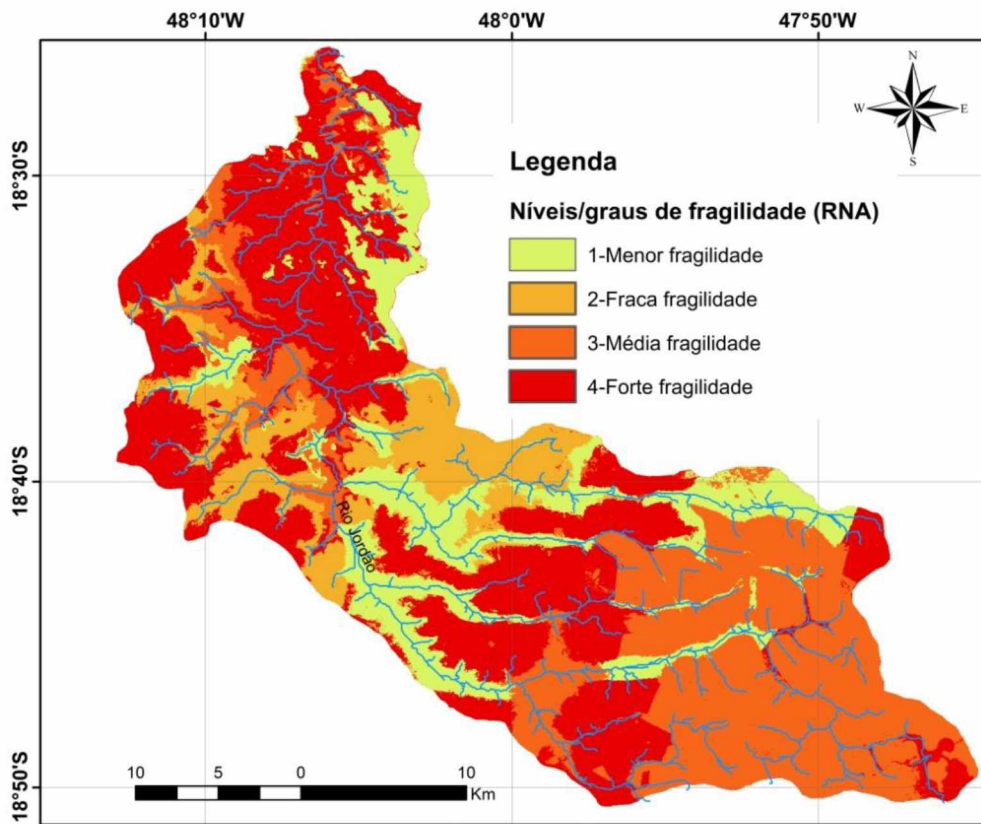


FONTE: IBGE. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84.  
Fusos: 22k e 23k. Escala: 1:250.000. Elaborado por RAMOS e SILVA (2015).

Analisando a fragilidade ambiental da BHRJ (Figura A) a partir das distâncias das áreas urbanas (Figura K) notou-se uma forte influência da variável urbana na determinação de áreas mais frágeis. Comparando-se os dois mapas temáticos gerados (Figura A e Figura K), os locais onde se localizam os limites das áreas urbanas a partir das quais foram calculadas as distâncias, no mapa de distâncias das áreas urbanas (Figura K), coincidem justamente com porções das áreas identificadas pelas RNAs como “Forte Fragilidade” (índice 4) de coloração vermelho forte. Um exemplo que justificaria bem essa análise é o entorno do distrito de Estrela do Sul, Dolearina, presente na Figura K, que, embora representado em uma parcela quase invisível devido a escala adotada, gerou um polígono identificado como muito frágil pela RNA (Figura A).

Deduz-se que as distâncias das áreas urbanas constituem-se em uma forte variável a ser considerada nos estudos de fragilidade ambiental. Como já havia sido citado por Braga (2003), as cidades são as construções humanas de maior impacto na superfície terrestre.

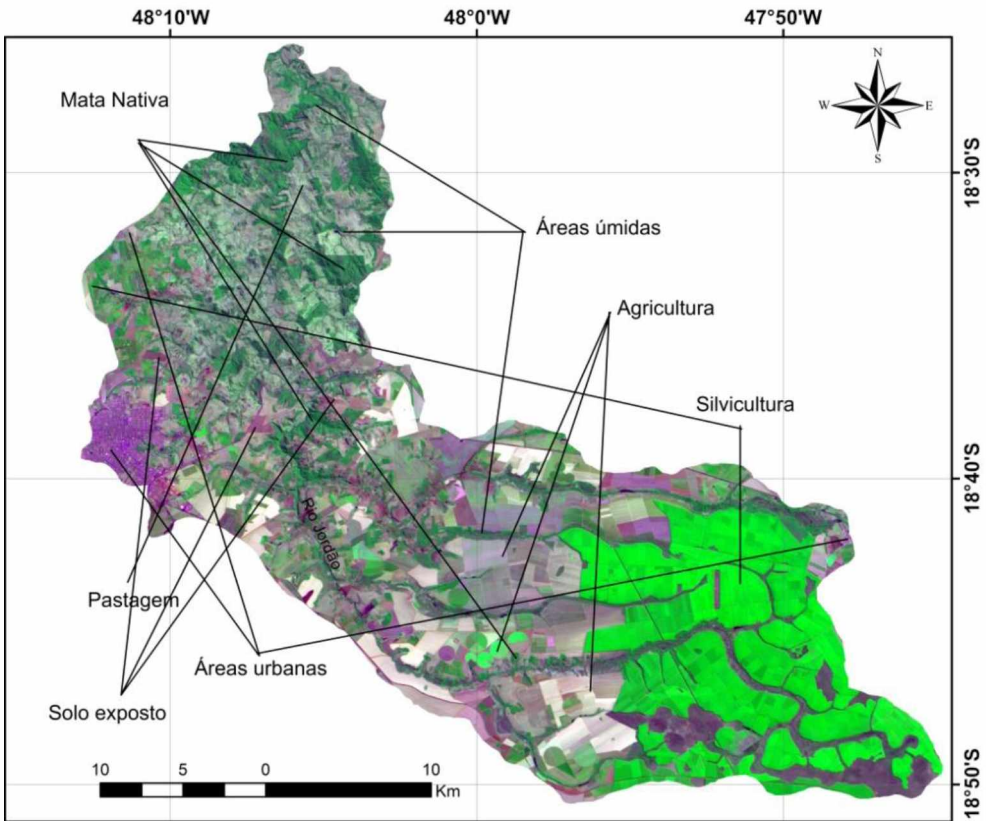
**Figura A.** Fragilidade Ambiental na BHRJ com uso de RNA



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM: WGS84. Fusos: 22k e 23k.  
Elaborado por RAMOS, R. R. da S. (2015). Escala: 1:250.000.

FONTE: AUTOR, 2015.

**Figura L. Uso e Ocupação do Solo na BHRJ**



**FONTE:** Landsat 8. **SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS. DATUM:** WGS84.  
**Fusos:** 22k e 23k. **Escala:** 1:250.000. **Elaborado por** RAMOS e SILVA (2015).

Tendo as atividades antrópicas como uma das atividades, se não a maior, que mais impactam a natureza, considerar a variável “uso e ocupação do solo” para estudo de fragilidade ambiental é imprescindível. Prova do exposto e de que as RNA bem conseguem simular o cérebro humano está nas Figuras A e L.

É nítido que, áreas de agricultura, pastagem, áreas urbanas, solo exposto e áreas úmidas se encontram nas áreas mais frágeis independente de outras variáveis existentes. O único problema e exceção que ocorre neste caso é que as áreas de silvicultura, predominante na parte montante da BRHJ e matas nativas, predominante na parte jusante da BHRJ (Figura L), embora haja alguns vestígios em outras áreas, coincidiram com áreas muito frágeis (índices 3 e 4 da Figura A) devendo corresponder aos níveis 2 e 1 respectivamente.

Com relação a silvicultura, nesse caso mais especificamente, tal classe de uso e ocupação merece um cuidado enorme, devido a grande quantidade e predominância (porção montante da BHRJ - Figura L) entre várias veredas. Se reduzirmos a escala de visualização em uma imagem de satélite ou **Google Earth Pro**, nota-se uma mancha considerável, verde escura, em destaque ao meio de todo o seu entorno e região. E o que se sabe é que tanto os *pinnus* quanto os eucaliptos consomem grande quantidade de água podendo comprometer o abastecimento de água nessa área de veredas por excesso de consumo e, logo, redução do nível de água, e risco de contaminação, poluição, degradação e extinção dessas feições/*habitats* (presentes e marcantes no bioma Cerrado e objetos de vários estudos, logo, merecedoras de preservação) já que nem todas se encontram preservadas, ao contrário, notou-se em trabalhos de campo a degradação de muitas delas.

Em contraponto, por mais que a silvicultura tenha suas desvantagens, se tratando de processos erosivos do solo, por exemplo, a silvicultura ainda se torna um bom indicador de proteção e cobertura do mesmo. Tanto que não foi considerada de tudo muito frágil (4) e sim, medianamente frágil (3) conforme Figura A, talvez pelo próprio fato dessa mesma área conter os maiores índices de precipitação, já relacionando as duas variáveis uso e ocupação do solo com precipitação, comparações que podem ter sido consideradas pela RNA.

Sobre a área de mata nativa, mais preservada a jusante da BHRJ, estando ligada e devido provavelmente a outras variáveis como: declividade, hipsometria e proximidade da rede de drenagem, no caso do curso de água principal, rio Jordão, mais largo, portanto merecedor de uma maior faixa de APP, está representada, nesta mesma



área, na Figura A, com índice 4, forte fragilidade, nos outros casos, correspondeu à realidade, de onde pode se deduzir que, nesse caso, a variável predominante também não é uso e ocupação do solo conforme será discutido nas conclusões a seguir.

Para avaliar os índices de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Jordão, considerando as interações entre um total de 11 variáveis, é que se fez a busca por um método mais sofisticado, preciso e inovador na área o qual atendeu tal proposta gerando um resultado satisfatório.

Além do método, foram acrescentadas e consideradas aqui algumas variáveis não abordadas por outros autores em trabalhos nesta linha de pesquisa como: temperatura superficial, curvatura, sombreamento e distâncias entre fraturas e áreas urbanas as quais apresentaram bons resultados, demonstrando ser variáveis dependentes e com forte à médio grau de influência na determinação da fragilidade ambiental, com destaque para a variável “geologia” e “distâncias das áreas urbanas”.

Segundo Ross (1994), a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. Ainda para esse autor, os estudos relativos a fragilidade, expressos através de cartogramas e textos, são documentos de extrema importância ao Planejamento Ambiental, que tenha como centro de preocupação o desenvolvimento sustentado, onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com desenvolvimento econômico e social.

Visto as atividades antrópicas expressas pelos diferentes tipos de usos e ocupação do solo e a partir das características dos elementos físico-naturais dispostos na paisagem da bacia tem-se um sistema complexo de análise, assim, para se estimar os locais mais críticos ao ponto de se tornarem prejudiciais ao homem e à própria natureza, as RNA se mostraram eficientes podendo ser então uma boa ferramenta para o monitoramento ambiental.

A partir do uso das Redes Neurais Artificiais, foi possível identificar diferentes índices de fragilidade ambiental na BHRJ, variando entre 1 a 4 no sentido da menor à maior fragilidade, assim identificou-se uma área de alta fragilidade considerável, de proporção significativa, perante o tamanho e extensão da bacia hidrográfica em questão, apontando através do mapa temático resultante locais críticos que possam ser ou se tornar perigosos ao ponto de comprometer a qualidade ambiental na bacia seja num futuro próximo, breve, ou daqui há alguns anos.

Os motivos e variáveis influentes para a incidência das áreas mais frágeis foram vários com destaque para a variável geologia que contribuiu nitidamente, ou seja,

contribui mais que as demais, sendo a variável, portanto, de maior peso aqui tratada pelas Redes Neurais Artificiais. As demais variáveis também tiveram influências interessantes e devem, portanto, serem consideradas nos estudos de fragilidade com exceção apenas da variável precipitação que aparentemente possui um menor peso de influência, apesar da análise já exposta, e que ocorrência pode variar em caso da aplicação da RNA ser destinada a um objeto alvo diferente da BHRJ, com área superior a que aqui foi considerada.

Neste tipo de análise complexa do meio ambiente é interessante se fazer uso de métodos inteligentes, que poupem tempo e recursos e que possam ser adaptados para diferentes situações e para cada tipo de análise afim de se obter melhores, mais válidos, precisos e ainda rápidos, resultados na área do presente estudo e em outras áreas, sendo fundamental para a tomada de soluções concretas.

Como bem lembrado por Christopherson (2012), o ex-secretário-geral das Nações Unidas e ganhador do Prêmio Nobel da Paz de 2001, Kofi Annan, ao falar no encontro anual da Associação dos Geógrafos Americanos (AAG), fez a seguinte avaliação:

“Como vocês sabem melhor do que ninguém, os sinais de sofrimento ambiental estão por toda a parte. Práticas insustentáveis estão profundamente entrelaçadas no tecido da vida moderna. A degradação da terra ameaça a segurança dos alimentos. A destruição das florestas ameaça a biodiversidade. A poluição da água ameaça a saúde pública, e a competição acirrada por água doce também pode se tornar uma fonte de conflito e de guerras no futuro... a esmagadora maioria dos especialistas em ciência concluiu que a mudança climática está ocorrendo, que os humanos estão contribuindo e que não podemos esperar mais para agir... os problemas ambientais se acumulam com o tempo, e levam um tempo igualmente longo para serem solucionados”.

Conforme objetivo apresentado não se buscou aqui dar uma descrição aprofundada e detalhada de características da bacia como uso e ocupação do solo, quais tipos de cultivos, quais suas porcentagens, qual a taxa de desmatamento exata de determinado ano até atualmente, taxas de infiltração da água, entre outras, até mesmo devido ao tempo disponível se tratando de uma dissertação de mestrado. Buscou-se aqui dar ênfase no método escolhido e na geração de mapa de fragilidade com uso de RNA para se verificar a precisão dos resultados utilizando-se esse método. Muitos trabalhos já foram feitos sobre fragilidade ambiental, cada um dando ênfase em um aspecto, fazendo uma abordagem diferente, seguindo autores diferentes, sob viés diferentes.

Tratando as RNA aqui como um método recentemente aplicado nos estudos ambientais é possível inferir que Christofolletti (1980 e 1981) já o previa e o descrevia talvez até sem saber do que se tratava em suas obras e sobre a sua eficiência caso viesse

a se realizar enquanto método de retroalimentação no estudo das paisagens, logo, em estudos geomorfológicos.

“As paisagens constituem respostas a um complexo de processos, cada um exigindo apropriadas escalas espacial e temporal para serem estudados. Na esculturação das formas de relevo essa complexidade é descrita pelas inúmeras variáveis envolvidas, havendo entre elas interação, interdependência e mecanismos de retroalimentação. O mecanismo de cada processo, assim como as de suas consequências, pode ser perfeitamente conhecido de maneira determinística, ou até, em muitos casos, as relações existentes entre pares de variáveis. Mas as interações e os mecanismos de retroalimentação, auto-regulando a ajustagem das respostas, fazem com que as combinações entre tais conjuntos de processos ocorram de maneira aleatória. A ajustagem no sistema pode levar ao aparecimento de respostas alternativas, todas elas possíveis, embora se possa pensar que as respostas mais comuns se organizem em torno do valor modal. Os exemplos de formas de relevo, oriundos da atuação de determinado sistema morfogenético (tais como vertentes, canais, rede de drenagem e outras, são numerosas), representam uma população estatística, compatível com a distribuição normal. A tendência central dessa distribuição pode ser descrita ou prevista, mas em nenhum momento do tempo é possível especificar as condições exatas para descrever um exemplo individualizado. De maneira semelhante quando se realiza o estudo de um grupo de exemplos encontrar-se-á variabilidade inerente entre os casos, e as características individuais compõem uma distribuição mais ou menos aleatória.. (CHRISTOFOLETTI, 1980. pág 114.).

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelas análises chegou-se a conclusão de que a RNA pode ser mesmo um bom método para se estudar e classificar a fragilidade ambiental de paisagens, pois, simulando o cérebro humano conseguiu gerar um resultado levando em conta todas as variáveis consideradas no presente estudo ao mesmo tempo, poupando tempo, recursos e entre outros, reduzindo a necessidade dos onerosos trabalhos de campo, por exemplo.

Por isso recomenda-se seu uso para estudos ambientais, mais especificamente aos estudos de fragilidade ambiental, já que sua aplicabilidade para tal foi positiva no presente trabalho, entre outros sistemas complexos, que demandem várias e/ou infinitas análises e comparações entre diferentes elementos e variáveis ao mesmo tempo, de maneira prática, rápida, barata e eficiente.

Notou-se que, das variáveis utilizadas aqui, as que tiveram maior peso, contribuição e influência, na definição das classes de fragilidade para a BHRJ pela RNA, a princípio visualmente, foram as variáveis “geologia”, “distâncias das fraturas”, “distâncias das áreas urbanas”, “declividade”; as que demonstraram um grau intermediário de influência no resultado seriam as variáveis “uso e ocupação do solo”, “pedologia”, “hipsometria”, “sombreamento”, “curvatura” e “temperatura”, e a que apresentou menor influência foi a “precipitação”.

É evidente que cada uma das variáveis analisadas separadamente, pode apresentar níveis diferenciados de fragilidade quando sobreposta a outra variável. Como exemplo, quanto aos índices de precipitação, as áreas mais úmidas, com maiores índices de precipitação, como citado, podem estar mais suscetíveis a processos de intemperismos químicos e físicos e de erosão, porém seu índice de fragilidade pode se alterar dependendo de outras variáveis também presentes no local como, tipo de solo, se o solo está exposto ou não, o tipo de cobertura vegetal caso haja a mesma, declividade, sombreamento, tipo de rochas, se possuem fraturas ou não, tipo de uso e ocupação, etc.

O trabalho aqui apresentado consiste em uma nova abordagem aos estudos ambientais recentes, que comprova a viabilidade e confiabilidade de uma nova proposta metodológica, o uso de Redes Neurais Artificiais para análise, identificação, comprovação, avaliação e verificação de fragilidades ambientais nas diferentes paisagens, sejam estas, rurais e/ou urbanas. Atendendo necessidades que vão desde a elaboração de diagnósticos de sistemas ambientais complexos até a proposta de soluções eficientes que atendam e cumpram aparatos legais. Amparadas por Leis (que regulamentam nossas atividades) nota-se que as questões ambientais são consideradas em grande quantidade de documentos legais, porém, infelizmente, nem sempre são seguidas, cumpridas, respeitadas, fiscalizadas, nem mesmo bem elaboradas e conhecidas, em alguns casos. Sobre muitas Leis no país pode-se dizer que: “são feitas para não serem seguidas/cumpridas”. Outras, às vezes são usadas para favorecerem uma minoria em prol de interesses particulares perante os outros.

Para o presente estudo não foi realizada a verificação das classes obtidas no resultado em campo, pois o objetivo principal era testar a metodologia e aplicabilidade das RNA na identificação e classificação de fragilidade ambiental, limitando-se então apenas ao uso e aplicação do método, porém o mesmo já está sendo feito em demais estudos a serem publicados posteriormente.

Pelos resultados obtidos nesse estudo de caso a metodologia se mostrou eficaz, foram atingidos os objetivos e comprovada a hipótese, pois a RNA consegue cumprir a função que lhe foi conferida, de simular o funcionamento do cérebro humano e processar informações de maneira visual considerando todas as variáveis de uma vez só e fazendo inferências que um técnico especializado poderia fazer em campo indo até mais para além do que nossos olhos possam perceber em um tempo e custos bem menores que o mesmo levaria.

Sendo assim, idealiza-se aqui que o esperado procedimento metodológico possa conferir melhores, mais rápidas e as eficientes soluções ambientais tão almejadas, acreditando-se e apostando na viabilidade e confiabilidade nas RNA como uma nova proposta metodológica para análises de fragilidade ambiental e como ferramenta prática de análise de paisagens e gestão e monitoramento ambiental.

Infelizmente é necessário uma boa base e banco de dados, que sejam confiáveis e precisos, para realização de tais estudos e aplicações e, ainda hoje, não contamos com essas bases cartográficas e demais informações na área, a respeito não só da BHRJ como de várias outras regiões do país. Houve, portanto, certa dificuldade na elaboração e execução de algumas etapas do presente trabalho devido à essa falta de materiais, tendo que ser tudo elaborado e criado rapidamente dado o tempo do curso em questão, mas devido a escala adotada para uso aqui, foi possível realizar adaptações e gerar os produtos almejados satisfatoriamente sem prejudicar a sua qualidade. A escolha do objeto e/ou área de estudo se faz muito importante, sugerindo-se aqui então, especial atenção ao tempo que se tem para realizar toda a pesquisa, ao quê se quer realizar, quais materiais e dados será preciso, juntamente com o que se tem acessível e ao alcance de ser concretizado e colocado em prática.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R.; BASTOS, A. C. S.; MALHEIROS, T. M.; SILVA, D. M. *Política e Planejamento Ambiental*. 3 ed. Rio de Janeiro, Thex, 2008. 457 p.
- AMSAT. Disponível em: <http://www.amsat.org/>. Acessado em 05/04/2015.
- ANA – Agência Nacional das Águas. Disponível em <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acessado em 22/12/2015.
- ANDRADE, S. L. *Identificação de fatores causadores de impactos ambientais em linhas de transmissão de energia usando geotecnologias*. PPGMQ/Uberlândia, 2016.
- ANDRADE, L.; SANTIL, F. L. de P. *Cartografia tátil: acessibilidade e inclusão social*. Museologia e Patrimônio. v. 3, n.1, 2010. Disponível em: [http://www.portal.ufpr.br/Acessibilidade/Cartografia\\_tatil\\_acessibilidade\\_e\\_inclusao.pdf](http://www.portal.ufpr.br/Acessibilidade/Cartografia_tatil_acessibilidade_e_inclusao.pdf). Acessado em: 20/11/2014.
- ANTOGNETTI, P.; MILUTINOVIĆ, V. (eds.) *Neural Networks: concepts, applications and Implementations*. v.2. Prentice Hall. 1991.
- BALDWIN, J. H. *Environmental Planning and Management*. Boulder, Westview Press, 1981.
- BERNHARDSEN, T. *Geographic information systems: an introduction*. New York: Wiley, 1999.
- BERTRAND, G. *Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico*. Revista RAEGA. Curitiba: UFPR, n. 8, 2004, p. 141-152.
- BISHOP, C. M. *Neural networks for pattern recognition*. Clarendon Press, Oxford, England, 1995.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro, LTC, 2000. 262 p.
- BRAGA, B. *Gestão de recursos hídricos: exemplos mineiros*. In: DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. de O. (org.) *Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos: exemplos mineiros*. CBH - Araguari. Uberlândia (MG): Assis Editora, 2012. 454 p.
- BRAGA, R. *Planejamento urbano e recursos hídricos*. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. *Recursos hídricos e planejamento urbano e regional*. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – IGCE/UNESP, 2003. p. 113-127.
- BRASIL - Lei N º9.433, de 8 de Janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433). Acessado em: 24/04/2014.

BRAVO, J. M.; PEDROLLO, O. C.; COLLISCHONN, W.; PAZ, A. R.; UVO, C. V. *Previsões de Curto Prazo de Vazão Afluente ao Reservatório de Furnas Utilizando Redes Neurais Artificiais*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, RBRH, v.13, n.2, 2008, p. 77-88.

BRISMAR, A. River systems as providers of goods and services: a basis for comparing desired and undesired effects of large dam projects. *Environment Management*, vol. 29, 2002, p. 598-609.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. *Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação*. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>. Acessado em: 20/11/2015.

CENTENO, F. R.; GOMES, H. M.; BEYER, P. O.; SCHNEIDER, P. S. *Aplicação de redes neurais artificiais para modelagem do comportamento térmico de condensadores evaporativos*. Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering – ENCIT. Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering -- ABCM, Curitiba, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. *Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento*. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista (org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012, p. 415-440.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial*. v.1 O Canal Fluvial. São Paulo: Edgard Blücher, Ltda., 1981. 313 p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgar Blücher, Ltda, 1999.

CHRISTOPHERSON, R. W. *Geossistemas: uma introdução à geografia física*. Porto Alegre: Bookman, 7. ed., 728 p. 2012.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. *Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados*. In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, (GEOPANTANAL). Campo Grande, 2006. p. 47-56. CD-ROM. ISBN 85-17-00029-3. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.12.10.52>. Acessado em: 05/03/2015.

COVER, T. M.; HART, P. E. *Nearest neighbor Pattern n classification*. IEEE Trans. Info. Theory, IT-13, nº1, p.21-27, 1967.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acessado em: 02/01/2014.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao*

*zoneamento ecológico – econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos, INPE, 2001. 124 p. (INPE – 8454 – RPQ/722).

CUNHA, L. H.; COELHO, M. C. N. *Política e Gestão Ambiental*. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). *A questão ambiental: diferentes abordagens*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. Cap. 2, p. 43-79.

CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *A questão ambiental: diferentes abordagens*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 7ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

CURRAN, P. J. *Principles of Remote Sensing*. Longman, 1988. 282 p.

D'ALGE, J. C. L. *Cartografia para Geoprocessamento*. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>. Acessado em: 20/11/2015.

DAWSON, C. W.; HARPHAM, C.; WILBY, R. L.; CHEN, Y. *Evaluation of artificial neural network techniques for flow forecasting in the River Yangtze, China*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(4), 619-626, 2002.

DESAI, V. S.; CROOK, J. N.; OVERSTREET, Jr.; *Theory and Methodology: a comparison of neural networks and linear scoring models in the credit union environment*. *European Journal of Operational Research*, 1996 pp - 24-37.

DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. O. (orgs.). *Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos: exemplos mineiros*. CBH - Araguari, Uberlândia: Assis Editora, 2012. 454p.

DUARTE, P. A. *Fundamentos da Cartografia*. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2002. 208p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: Reunião técnica de levantamento de solos, 10. Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FERNANDES, R. R.; NUNES, G. M.; SILVA, T. S. F. *Classificação orientada a objetos aplicada na caracterização da cobertura da terra no Araguaia*. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.47, n.9, p.1251-1260, set. 2012.

FERREIRA, L. C. (org). *A questão ambiental na América Latina*. Campinas: UNICAMP, 2011.

FITZ, P. R. *Cartografia básica*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. (org). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318 p.



- FRANCO, J. L. de A.; SILVA, S. D.; DRUMMOND, J. A.; TAVARES, G. G. (orgs.) *História ambiental: fronteiras, recursos naturais e conservação da natureza*. Rio de Janeiro: Garamond, 2012. 392 p.
- FREITAS, V. A. L. *Contribuição ao processo de regionalização de vazões: análise de métodos e variáveis explicativas*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2003.
- HAYKIN, S. *Neural Networks: a comprehensive foundation*. 2ed. Prentice Hall, 1999.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Introdução ao Processamento Digital de Imagens*. Manuais Técnicos em Geociências – n.9. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 92 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 02/01/2014.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acessado em: 04/02/2014.
- KERSTING, A. P. B.; CENTENO, J. S.; FILHO, C. E. F. *Geração de Modelo Tridimensional do Teatro do Paiol a partir do Emprego da Tecnologia Laser Scanner Terrestre*. Curitiba, UFPR, 2004.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. *The measurement of observer agreement for categorical data*. Biometrics. Washington. 1977. Disponível em: . Acessado em: 05/11/2015.
- MAIER, H. R.; DANDY, G. C. *Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications*. Elsevier Science Ltd. Environmental Modeling and Software, 15, 2000. pp 101–124.
- MALARET, E.; BARTOLUCCI, L. A; LOZANO, D. F.; ANUTA, P. E.; MCGILLEM, C. D. *Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis*. Journals Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 51, n. 9, p. 1407-1416, 1985.
- MARTINELLI, M. *Mapas da geografia e cartografia temática*. São Paulo: Contexto, 2005. 2 ed.
- MARUJO, R. F. B. *Avaliação de métodos de segmentação de imagens aplicadas na classificação de culturas cafeeiras*. UFV, Lavras-MG, 2013.
- MacGREGOR, R. J. *Neural and brain modeling*. London, Academic, 1987.
- McCORMICK, John, 1964. *Rumo ao Paraíso : a história do movimento ambientalista*. Tradução de Marco Antônio Esteves da Rocha e Renato Aguiar. Rio de Janeiro: Relume - Dumará, 1992.
- MCNEILL, J. R.; PÁDUA, J. A.; RANGARAJAN, M. (ed.). *Environmental history: as if nature existed*. Oxford University Press, 2010. 248 p.
- MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. 2.ed. São Paulo: Editora Unesp, 2008.

- MOREIRA, M.A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação*. 2ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.
- MUNIZ, E. F. *Uma contribuição à aplicação de redes neurais artificiais em previsão de demandas*. Uberlândia: UFU, 1997.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <http://www.nasa.gov>. Acessado em: 24/04/2014.
- OLIVEIRA, F. M.; SADALA, J. *Casos de excepcionalidades hídricas subterrâneas no estado de Minas Gerais*. In: Anais do 1st Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza, 2000.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). *Programa de conjunto para 1ª reducción de los desastres naturales en los años 90: Informe 1990/1991*. Ginebra, 1992.
- PAZ, A. R.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M. *Análise de metodologias de previsão de vazões em tempo real. Estudo de casos: bacias do Rio Doce (MG) e do rio Uruguai (RS)*. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Campo Grande, 2002.
- RAMOS, C. da S. *Visualização cartográfica e cartografia multimídia: conceitos e tecnologias*. São Paulo: UNESP, 2005.
- RAMOS, R. R. da S.; SILVA, C. R. da. *Análise da temperatura na bacia hidrográfica do rio Jordão por comparação entre modelos de krigagem*. Anais da X Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no Âmbito do Mercosul e V Seminário de Geotecnologias. Lençóis-BA, 2015.
- RODRIGUES, C. *A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais*. USP/Revista do Departamento de Geografia, 14, pp. 69-77. São Paulo, 2001.
- ROSA, Roberto. *Introdução ao sensoriamento remoto*. 7.ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 264p.
- ROSOLEN, V. *O uso de indicadores para avaliar a qualidade dos recursos hídricos*. In: DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. de O. (org.) *Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos: exemplos mineiros*. CBH - Araguari. Uberlândia (MG): Assis Editora, 2012. 454 p. il.
- ROSS, J. L. S. *Análise empírica dos ambientes naturais e antropizados*. Laboratório de Geomorfologia. In: *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo: FFLCH, USP, 1994, n.8.
- ROSS, J. L. S. *Geomorfologia, ambiente e planejamento*. São Paulo: Ed. Contexto, 1990, 85 p.
- ROSS, J. L. S. *O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo*. *Revista do Departamento de Geografia*, 1992. n. 6, p. 17-29.

- ROVEDDER, J. Validação da classificação orientada a objetos em imagens de satélite Ikonos II e elaboração de indicadores ambientais georreferenciados no município de Torres, planície costeira do rio grande do sul. CEPSSRM - UFRGS, Porto Alegre, 2007.
- SANTIL, F. L. de P. *Análise da percepção das variáveis visuais de acordo com as leis da GESTALT para representação cartográfica*. Curitiba – UFPR, 2008.
- SANTIL, F. L.; SERIKAWA, V. S. *Traços do desenvolvimento cognitivo dos cartógrafos nos mapas do Brasil dos séculos XVI e XVII*. In: Anais do III Simpósio Luso-brasileiro de Cartografia Histórica. Ouro Preto, 2009.
- SANTIL, F. L.; SLUTER, C. R. *As pesquisas em cognição visual aplicadas à cartografia*. Revista Brasileira de Cartografia, n.64/3, p. 367-376, 2012.
- SANTOS, R. F dos. *Planejamento ambiental: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SARMENTO, F.J. *Modelagem de séries hidrológicas através de redes de neurônios*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, vol. 1, no 2, pp. 19-31, 1996.
- SCHNEIDER, V. *Mapeamento geomorfológico e zoneamento ambiental de fragilidades na bacia hidrográfica do Rio Barra Seca – Espírito Santo*. Vitória: UFES, 2011.
- SHIMIZU, W. A. *O papel dos comitês na gestão da água*. In: DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. de O. (org.) *Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos: exemplos mineiros*. CBH - Araguari. Uberlândia (MG): Assis Editora, 2012. 454 p.
- SILVA, C. R. *Extração de estradas vicinais em imagens digitais e dados laser scanner usando abordagens automática e semi-automática*. Curitiba, 2008.
- SILVA, C. R.; ANDRADE, S. L.; PACHECO, A. P. *Avaliação de técnicas de processamento de imagem na identificação de impactos ambientais em linha de transmissão de energia elétrica*. Revista Ciência e Natura, v.38 n.1, p. 145 – 155. Santa Maria: UFSM/2016.
- SILVA, J. dos S. V. da (2003). *Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental: estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas.
- SILVEIRA, C. T. *Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais*. Curitiba - UFPR, 2010.
- SILVEIRA, M. R. M. *Sistema neural para quantificação e qualificação da sonografia fiscal de ICMS em empresas do tipo débito/crédito*. Dissertação de Mestrado, UENF, 2001.
- SOUZA, A. R.; *Outorgas superficiais na bacia do Rio Claro, Minas Gerais - Brasil*. In: DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. O. *Planejamento e Gestão de*

Recursos Hídricos: exemplos mineiros (orgs.). CBH - Araguari, Uberlândia: Assis Editora, 2012. 454p.

SOUZA, M. P. *Instrumentos de Gestão Ambiental: fundamentos e práticas*. São Carlos: Editora Riani Costa, 2000. 112p.

SPÖRL, C. *Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais*. São Paulo – USP, 2007.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. *Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos*. São Paulo: GEOUSP - Espaço e Tempo, N° 15, pp.39-49, 2004.

TAYLOR, J. G. (ed.). *Neural Network Applications: Proceedings of the Second British Neural Network Society Meeting (Perspectives in Neural Computing Series)*. London, Springer Verlag, 1991.

THOMAS, D. S. G. Et Alisson, E. J. (1993). *Landscape Sensitivity*. Chichester. John Wiley Et Sons.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE/ SUPREN, 1977.

TRICART, J. *Landforms of the humid tropics, forests and savannas*. Longmans, London, 1972. 306pp.

VALLE, C. E. do. *Qualidade Ambiental: ISO 14.000*. 12ªed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

VARELLA, P. *Água e desenvolvimento*. In: DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. O. *Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos: exemplos mineiros (orgs.)*. CBH - Araguari, Uberlândia: Assis Editora, 2012. 454p.

WEST, D. *Neural network credit scoring models*. Computer and Operations Research, 2000.

ZEALAND, C.M.; BURN, D.H.; SIMONOVIC, S.P. *Short term stream flow forecasting using artificial neural networks*. Journal of Hydrology, no 214, 1999. pp 32-48.