

Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados no Sul do Estado da Bahia, Brasil

Zoning environmental fragility of natural and anthropped ecosystems in the South of the State of Bahia, Brazil

Zonificación de la fragilidad ambiental de ecosistemas naturales y antropados en el Sur del Estado de Bahia, Brasil

Gabriel Paternostro Lisboa

Doutor em Biosistemas pelo Centro de Formação em Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB.

eng.gabrielpaternostro@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0001-9352-0459>

Francisco Rubens Feitosa Junior

Doutor em Biosistemas pelo Centro de Formação em Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB.

rubenshayek@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0001-7793-2138>

Júlio Gonçalves da Silva Júnior

Doutor em Biosistemas pelo Centro de Formação em Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB. Juiz de Direito do Tribunal de Justiça do Estado da Bahia.

juliogsj@hotmail.com / <http://orcid.org/0000-0002-1444-1881>

Rebecca Camilly Galvão dos Santos

Mestra em Biosistemas pelo Centro de Formação em Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB.

rebeccacamilly92@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0003-4035-7904>

Haighlanda Calil Haddad

Pós-Graduada em Engenharia Ambiental Urbana pelo Centro de Formação em Tecno-Ciências e Inovação da Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB.

haighlandach@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0003-4836-1836>

Luciano Cavalcante de Jesus França

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. Docente do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia – ICIAG/UFU/Campus Monte Carmelo.

lucianocjfranca@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0002-8885-972X>

Gerson dos Santos Lisboa

Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Docente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás – UFG.

gerson.lisboa@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0002-9834-2441>

Vinícius de Amorim Silva

Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Docente do Centro de Formação em Tecno-Ciências e Inovação da Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB.
vinicius.amorim@cja.ufsb.edu.br / <http://orcid.org/0000-0001-5814-9199>

Robson da Silva Magalhães

Doutor em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia – UFBA. Docente do Centro de Formação em Tecno-Ciências e Inovação da Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB.
robson.magalhaes@gfe.ufsb.edu.br / <http://orcid.org/0000-0002-7618-7049>

Recebido: 01/11/2021; Aceito: 08/08/2023; Publicado: 03/03/2025.

Resumo

O desenvolvimento da civilização decorre do consumo de recursos naturais, notadamente, os serviços ecossistêmicos, sobretudo aqueles fornecidos por bacias hidrográficas. Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo mapear os graus de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Salgado, localizado no Sul do Estado da Bahia, a partir de uma análise multicritério de distintos dados biofísicos e de uso e cobertura da terra, processados em sistema de informações geográficas e *machine learning*. Com os resultados, verifica-se que a declividade da topografia e as classes pedológicas são determinantes para a fragilidade potencial do ecossistema avaliado, variando em maior proporção de baixo a médio. Na fragilidade emergente, constatou-se que ambientes anteriormente classificados com alto grau de fragilidade potencial reduziram seus níveis, devido a presença de fragmentos florestais. Em outro aspecto, níveis classificados com fragilidade baixa e média, passaram a obter fragilidades emergentes média e alta, devido a antropização local. Os resultados servirão para um planejamento e uma gestão territorial mais sustentável, sendo uma contribuição para o Comitê das Bacias Hidrográficas do Leste.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Inteligência Artificial; Recursos Hídricos; Erosão.

Abstract

The development of civilization stems from the consumption of natural resources, notably ecosystem services, especially those provided by river basins. Given this context, this study aims to map the degrees of environmental fragility of the Rio Salgado Hydrographic Basin, located in the South of the State of Bahia, from a multi-criteria analysis of different biophysical and land use and cover data, processed in geographic information system and machine learning. With the results, it appears that the slope of the topography and soil classes are determinant for the potential fragility of the evaluated ecosystem, varying in greater proportion from low to medium. In emerging fragility, it was found that environments previously classified as having a high degree of potential fragility reduced their levels, due to the presence of forest fragments. In another aspect, levels classified as low and medium frailty started to obtain medium and high emergent frailties, due to local anthropization. The results will serve for a more sustainable territorial planning and management, being a contribution to the Committee of the River Basins of the East.

Keywords: Geoprocessing; Artificial Intelligence; Water Resources; Erosion.

Resumen

El desarrollo de la civilización se deriva del consumo de recursos naturales, en particular los servicios de los ecosistemas, especialmente los que proporcionan las cuencas fluviales. En este contexto, este estudio tiene como objetivo mapear los grados de fragilidad ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río Salgado, ubicada en el Sur del Estado de Bahía, a partir de un análisis multicriterio de diferentes datos biofísicos y de uso del suelo y cobertura del suelo, procesados en sistema de información geográfica y aprendizaje automático. Con los resultados, parece que la pendiente de la topografía y las clases de suelo son determinantes para la potencial fragilidad del ecosistema evaluado, variando en mayor proporción de baja a media. En fragilidad emergente, se encontró que ambientes previamente clasificados como de alto grado de fragilidad potencial redujeron sus niveles, debido a la presencia de fragmentos de bosque. En otro aspecto, los niveles clasificados como fragilidad baja y media pasaron a obtener fragilidades emergentes medias y altas,

debido a la antropización local. Los resultados servirán para una planificación y gestión territorial más sostenible, siendo un aporte al Comité de Cuencas Hidrográficas del Este.

Palabras clave: Geoprocusamiento; Inteligencia Artificial; Recursos Hídricos; Erosión.

Introdução

O debate global acerca dos recursos hídricos tem sido o ponto central das preocupações ambientais mais recentes. Notadamente no que concerne ao seu uso e à sua disponibilidade, uma vez que a escassez qualitativa de recursos hídricos pode levar ao possível esgotamento da sua forma potável, em determinadas regiões do planeta (Huang *et al.*, 2021).

Muitas pesquisas e estudos que tem avaliado os impactos ambientais nos diversos biosistemas globais, e no Brasil, apresentam relatos de graves consequências, e alertas em relação à conservação da água e do solo, e das fragilidades envolvendo bacias hidrográficas (França, 2018; Silva *et al.*, 2020; Oliveira-Andreoli *et al.*, 2021; Anjinho *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021). Parte das consequências decorrentes da intensificação de práticas antrópicas alertam os gestores públicos para exercerem a gestão para além do local de sua influência, visando o adequado manejo dos recursos naturais, que pode ser obtido através de macro ordenamentos territoriais e ambientais.

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que trata de vários princípios e normas voltadas a gestão de recursos hídricos. Dentre os fundamentos da Lei nº 9.433, inclui-se a bacia hidrográfica “como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos”. (Brasil, 1997).

Conforme Lisboa *et al.*(2017) e Silva *et al.*(2021), as bacias hidrográficas são formadas por um mosaico de subsistemas integrados estruturalmente e funcionalmente, onde os processos bióticos e abióticos se desenvolvem, apresentando as condições ideais para a realização de estudos voltados à conservação e preservação do meio ambiente.

A atuação dos gestores sobre as bacias como espaços de estudo e elementos prioritários de sua gestão permite que sejam mais efetivas as políticas públicas implantadas nos territórios dessas bacias. As características físicas das bacias hidrográficas se alteram no decorrer do tempo sob a influência de dois fatores: um de ordem natural, e outro em decorrência de atividades antrópicas. As bacias hidrográficas são importantes unidades de planejamento de gestão hídrica no Brasil e no mundo (Carvalho, 2020).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica tem como objetivo entender a dinâmica ambiental local e regional, além de diagnosticar os seus serviços ecossistêmicos. Os serviços ecossistêmicos de uma bacia se caracterizam como sendo os benefícios diretos e indiretos utilizados pelo homem a partir dos ecossistemas. Entre os serviços ecossistêmicos, destacam-se: a provisão de alimentos, a regulação climática e do ciclo da água e a formação do solo (Dias *et al.*, 2019).

Reconhecer o grau de fragilidade ambiental das bacias hidrográficas é uma ação necessárias para a compreensão dos serviços ecossistêmicos e a proteção de recursos como água e solos. A análise da fragilidade ambiental é realizada a partir de duas classificações distintas: fragilidade potencial e fragilidade emergente, que são classificações estabelecidas por Ross (1994). A fragilidade potencial é definida como sendo a susceptibilidade natural de um ambiente em função das características biofísicas da paisagem, tais como a declividade do terreno, o tipo de solo, o arcabouço geológico, a hierarquia fluvial e a pluviosidade. Já a fragilidade emergente, além dos aspectos biofísicos, inclui os graus de proteção da terra, tais como os diferentes tipos de uso e cobertura da terra (França *et al.*, 2019).

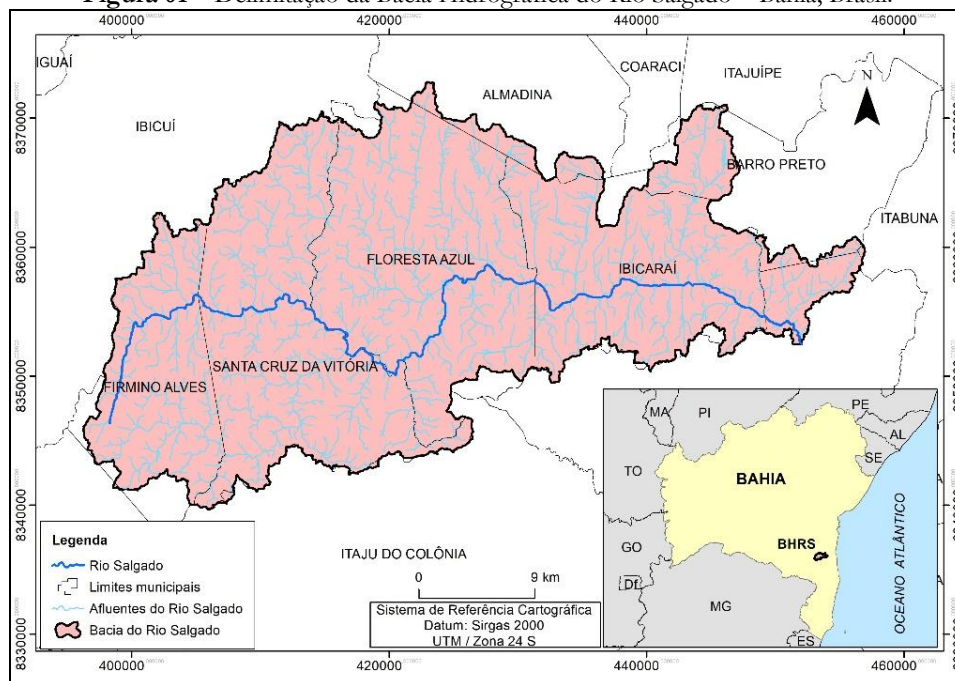
Este trabalho tem como objetivo conhecer as potencialidades e fragilidades ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Salgado (BHRS). A partir do geoprocessamento de dados da bacia, é possível construir um mapeamento dos serviços ecossistêmicos importantes para conhecimento da sustentabilidade. Espera-se que o mapeamento apresentado neste estudo contribua para uma melhor identificação, planejamento, gestão e recuperação de serviços ecossistêmicos importantes para a BHRS. A metodologia apresentada pode ser aplicada para outras bacias hidrográficas do país.

Material e Métodos

Área de estudo

A pesquisa foi realizada considerando a área da Bacia Hidrográfica do Rio Salgado (BHRS), localizada no Sul da Bahia, com uma área de 1.020 km² (Figura 01).

Figura 01 – Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Salgado – Bahia, Brasil.



Fonte: Autores (2021).

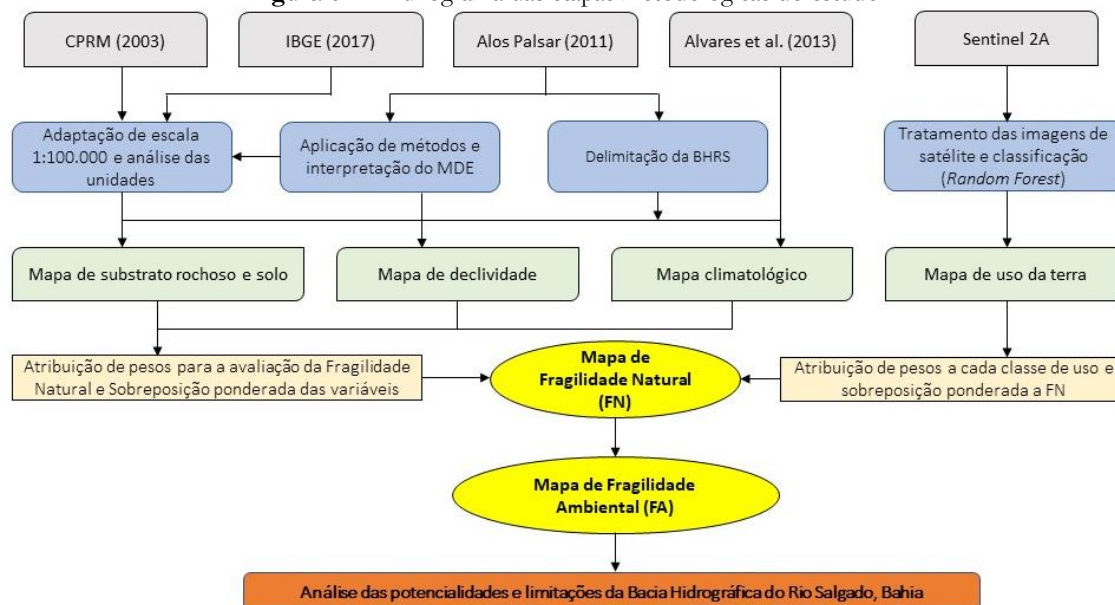
O rio Salgado é um importante afluente do rio Cachoeira e um dos formadores da bacia, nasce na serra do Salgado, a aproximadamente 2 km do povoado de Ipiranga, município de Firmino Alves, Bahia. Ao longo de seu curso de 64 km, banha os municípios de Firmino Alves, Santa Cruz da Vitória, Floresta Azul, Ibicaí e Itapé, com uma direção geral W-E, até seu encontro com o rio Colônia (Rocha Filho, 1976).

A região tem uma extensa área de fragmentos florestais associados ao cultivo de cacau em sistema agroflorestal no qual as árvores nativas da região fornecem sombra aos cacaueiros, o que ressalta ainda mais a sua importância na conservação dos recursos naturais e no incentivo de cooperativas para a Agricultura Familiar e Economia Solidária da Bacia do Rio Salgado (Fontes *et al.*, 2019).

Base de dados

Para compor o banco de dados da pesquisa, as informações são trabalhadas tomando como referência a Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), *Datum* Sirgas 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), Zona 24 S. Os arquivos foram manipulados na escala 1:100.000, em função dos dados de cobertura planialtimétrica existentes. O fluxograma dos passos metodológicos apresentados na Figura 02 sintetiza os procedimentos para obtenção da fragilidade ambiental da BHRS.

Figura 02 – Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.



Fonte: Autores (2021).

Delimitação da área em estudo

Sabendo que a topografia é um fator importante nos processos de transporte, distribuição e acumulação de água em um determinado território, para delimitação da bacia hidrográfica é necessário a obtenção do modelo digital de elevação (MDE). Os dados de altimetria utilizados foram originados a partir de imagens de radar do sensor ALOS PALSAR (ASF, 2020), com resolução espacial de 12,5 metros, disponíveis na plataforma digital da *Copernicus Open Access Hub*.

Com o download e descompactação dos arquivos, eles foram pré-processados para auxiliar a manipulação. Primeiramente realizou-se a criação de um mosaico das imagens por meio da ferramenta “mesclar” no *software* QGIS 3.16. Posteriormente, o arquivo *raster* foi reprojetoado para o código *European Petroleum Survey Group* - EPSG: 31984, com a função “reprojetar coordenadas”.

Com o modelo digital de elevação ajustado, iniciou a delimitação da BHRS. Para esta etapa, faz-se necessário o preenchimento de falhas, eliminação de reentrâncias e saliências no MDE com a função *Fill Sinks*. Em seguida, define-se a direção de fluxo das águas pluviais utilizando o *Flow Direction*. Essa ferramenta detecta os pixels com maior e menor valor de altitude, direcionando das células mais altas até as mais baixas, assim delineando uma série de fluxos que se confluem à jusante, formando a rede de drenagem. A partir da direção de fluxo é possível obter o *Flow Accumulation*, que tem a finalidade de indicar áreas com maior concentração de fluxo acumulado, apontando assim, uma maior probabilidade de ocorrência de cursos hídricos.

A delimitação da bacia hidrográfica é realizada após a conclusão das etapas elencadas anteriormente, com a função *Watershed*. Para a área de estudo, determina-se manualmente o exutório da bacia, com a alocação de um arquivo vetorial ponto, a partir deste ponto, é estabelecido os limites da bacia.

Elaboração das camadas multicritério da BHRS

O primeiro componente físico-ambiental mapeado são as (i) classes de declividade da BHRS. Com o sistema de informação geográfica (SIG) adotado, utilizando especificamente a função *Slop* aplicado às imagens topográficas da ALOS PALSAR, foi gerado os declives da bacia em porcentagem obedecendo as divisões de classes pré-determinadas na metodologia.

A caracterização do substrato rochoso teve como referência o dado vetorial do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na escala 1:1.000.000. Tendo em vista que a escala trabalhada é de 1:100.000, com as ferramentas de edição de feições, no QGIS 3.16, são realizadas correções nos contatos das unidades por meio do MDE.

Para o mapeamento dos critérios pedológicos seguiu-se as informações vetoriais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na escala 1:250.000. O procedimento discriminado anteriormente é adotado, para melhorar os ajustes nos contatos das classes, visto que o relevo, conforme Pereira *et al.* (2019), é o principal responsável pelos diferentes tipos de solos em um determinado ambiente.

Ainda, segundo o autor supracitado, existem mais três fatores de formação do solo, com base nos estudos de Jenny (1941) que são: clima, vegetação e material de origem. Diante disso, foram considerados para a adaptação de escala, além do relevo, a vegetação diagnosticada por imagem de satélite, as diferentes condições climáticas e os distintos materiais de origem contidos no mapeamento de substrato rochoso.

As etapas de levantamento de (ii) solos e (iii) geologia, ressalta-se a importância da função *hillshade*, por produzir a representação 3D à escala de cinza da superfície do terreno.

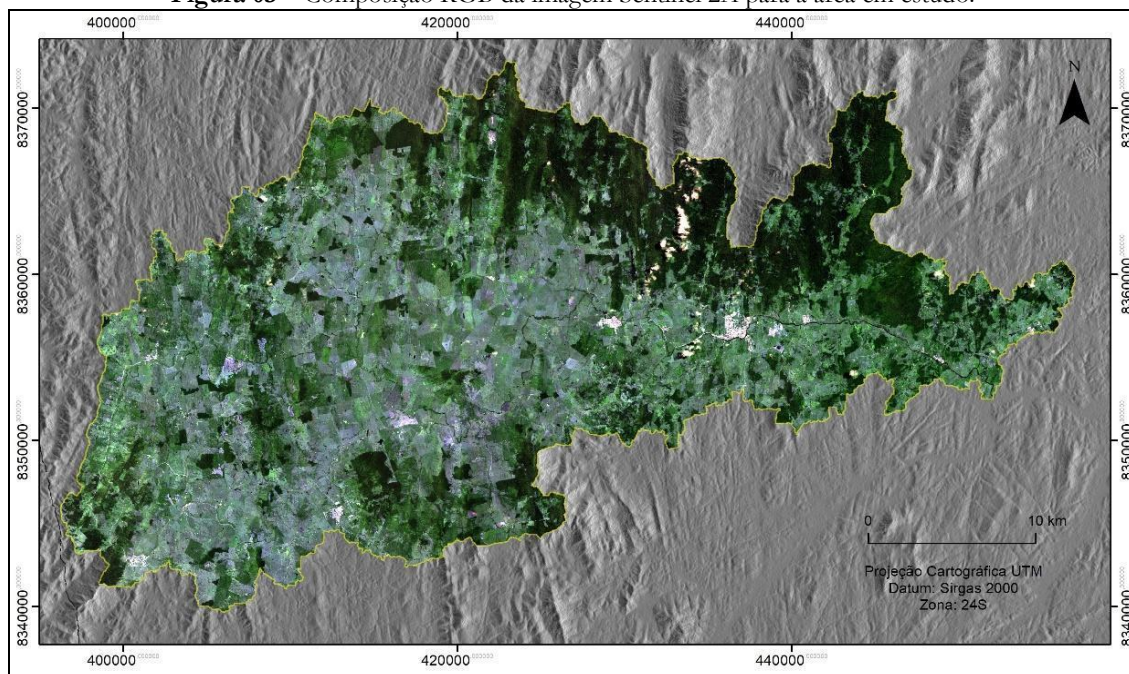
O último dado, o (iv) climático, tem como base os dados matriciais da classificação de Köppen, adaptado por Alvares *et al.* (2013) em seu trabalho: “Köppen’s climate classification map for Brazil”.

Classificação de uso e cobertura da terra

As imagens de satélite Sentinel 2^a (ESA, 2021), datadas em março de 2021, se apresentaram satisfatórias para o mapeamento do uso e cobertura da terra em decorrência da baixa incidência de nuvens, Figura 03, e, principalmente, devido o tipo de produto

escolhido já possuir dados calibrados para reflectância de superfície, não sendo necessária sua correção. As mesmas foram baixadas no *site* oficial do programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (ESA).

Figura 03 – Composição RGB da imagem Sentinel 2A para a área em estudo.

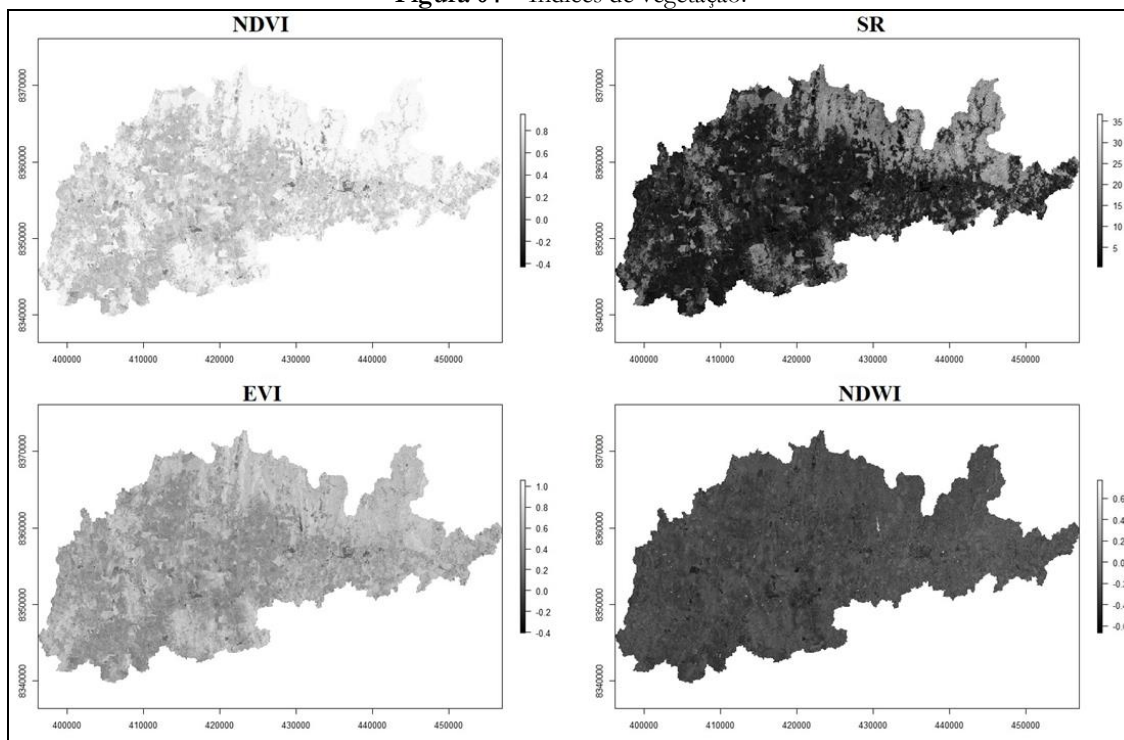


Fonte: Autores (2021).

Com a escolha das imagens e a instalação de pacotes específicos no *software* RStudio 4.1.1 é possível obter o mosaico das imagens, composição das bandas multiespectrais, e, posteriormente, o cálculo dos índices de vegetação e sua adição no *stack*, por serem fundamentais para o processo de classificação.

Os índices adotados são: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Simple Ratio* (SR), *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e *Enhanced Vegetation Index* (NDWI), Figura 04.

Figura 04 – Índices de vegetação.

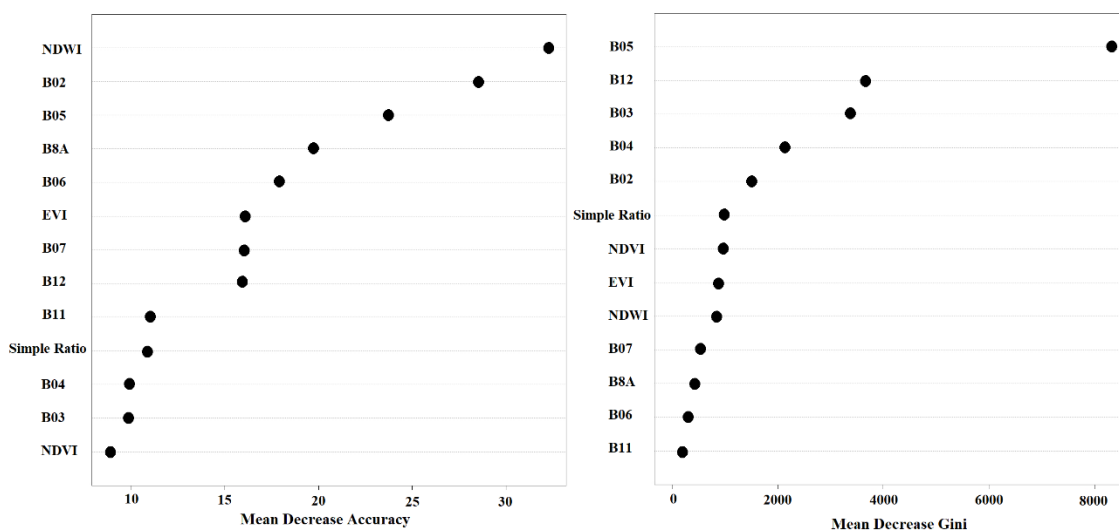


Fonte: Autores (2021).

Após processar os dados, foi feita a coleta de amostras de classes, por meio do SIG. As classes amostrais baseiam-se na ocorrência de sua distribuição nos limites da BHRS, que puderam ser observadas e diferenciadas por meio da imagem de satélite. As classes determinadas são: área urbanizada, pasto limpo/sujo, solo exposto, floresta não manejada/SAF cacau cabruca, água e nuvem. Na classe solo exposto foi inserido apenas as áreas degradadas ou aquelas áreas que em algum momento encontram-se em pousio, ou seja, período entre uma cultura e outra.

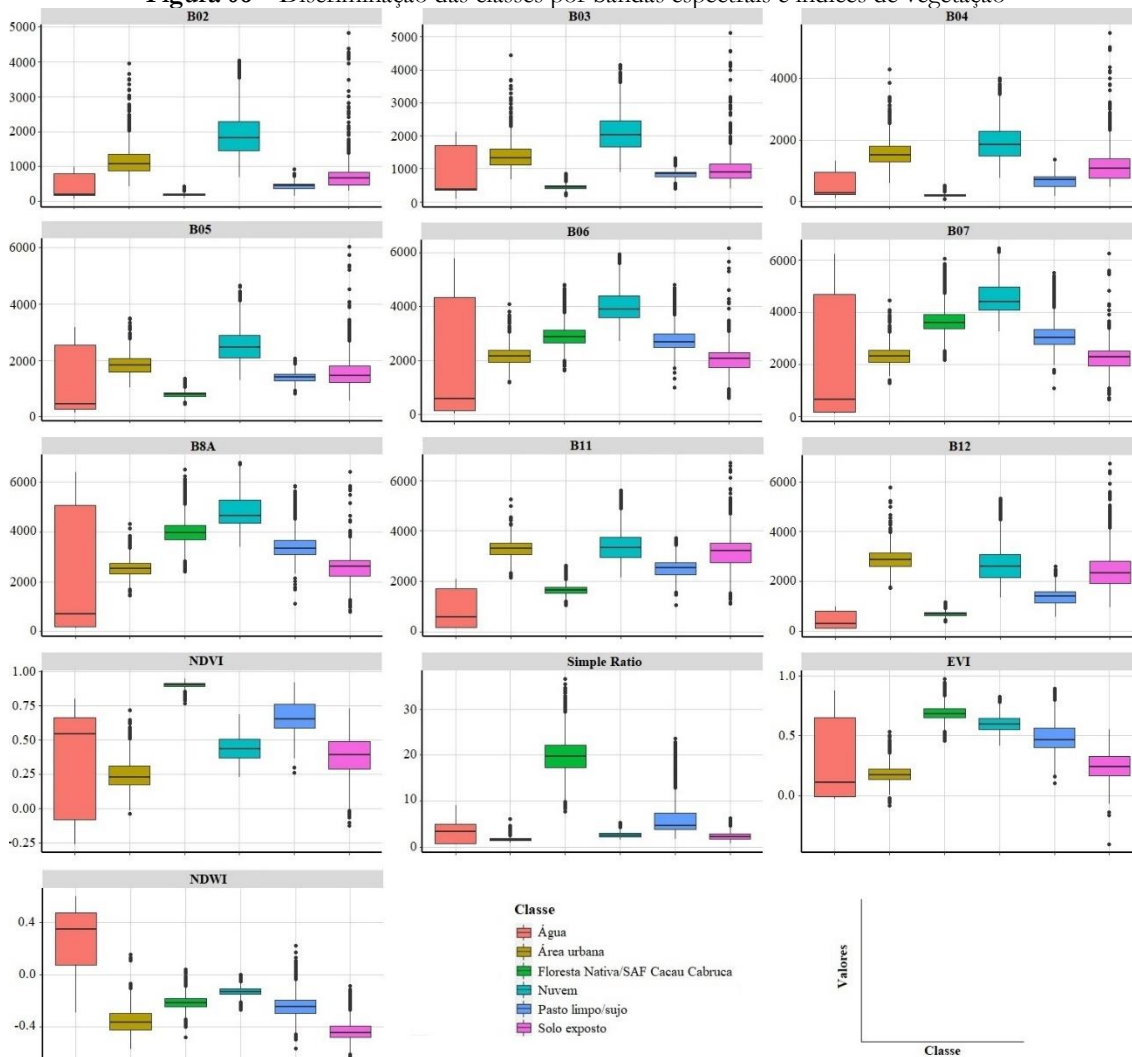
Com a definição dos diferentes tipos de uso, a classificação da imagem é procedida por meio do método de aprendizado de máquina, especificamente o *Random Forest* - RF (Breiman, 2001), aplicado no RStudio. Dos 300 pontos amostrais, 70% são para treinamento e 30% para validação. A seguir, com a Figura 05 e 06 é possível observar as bandas espectrais e índices mais importantes para discriminação das classes.

Figura 05 – Bandas espectrais e índices mais importantes para discriminação das classes
RANDOM FOREST



Fonte: Autores (2021).

Figura 06 – Discriminação das classes por bandas espectrais e índices de vegetação



Fonte: Autores (2021).

O algoritmo de classificação empregado utiliza árvores de decisão que possibilita a exploração de uma grande quantidade de dados de entrada. Neste método de classificação, cada árvore é construída executando um algoritmo de aprendizado individual que divide a variável de entrada em subconjuntos, gerando deste modo diversas árvores. Este processo de divisão de árvores é repetido inúmeras vezes até que o nó contenha amostras muito semelhantes ou quando a divisão não agrega mais valor às previsões (Pelletier *et al.*, 2016).

A escolha do algoritmo se baseia em trabalhos como dos autores Li *et al.* (2014) e Rosa (2018), que apresentam o bom desempenho do RF para a classificação de imagens. Sothe *et al.* (2017) acrescenta que a medida de importância das variáveis obtidas com o algoritmo RF mostra que as métricas texturais média, contraste e dissimilaridade destacam-se na classificação.

Realizado o treinamento e a validação das amostras, o próximo passo é a validação do modelo. Para isso, a estatística (Tabela 01) revela dados importantes para análise preditiva, assim como seus dados de acurácia, especificidade e sensibilidade das classes de uso da terra.

Tabela 01 – Matriz de confusão e estatística geral.

		Referência					
		Água	Área Urbana	Floresta / Cacau	Nuvem	Pastagem	Solo Exposto
P r e d i ç ã o	Água	104	0	0	0	0	0
	Área Urbana	0	248	0	0	0	14
	Floresta / Cacau	0	0	9856	0	24	0
	Nuvem	0	0	0	634	0	0
	Pastagem	0	2	25	0	6499	37
	Solo Exposto	0	51	0	0	22	670
Estatísticas Gerais:							
Acurácia : 0.9904 Kappa : 0.9832							
Estatísticas por classe:							
		Água	Área Urbana	Floresta / Cacau	Nuvem	Pastagem	Solo Exposto
Sensibilidade		1,000000	0,82392	0,9975	1,00000	0,9930	0,92926
Especificidade		1,000000	0,99922	0,9971	1,00000	0,9945	0,99582
Valor posit. pred.		1,000000	0,94656	0,9976	1,00000	0,9902	0,90175
Valor neg. pred.		1,000000	0,99704	0,9970	1,00000	0,9960	0,99708
Prevalência		0,005719	0,01655	0,5433	0,03486	0,3599	0,03965
Taxa de detecção		0,005719	0,01364	0,5420	0,03486	0,3574	0,03684
Prev. de detecção		0,005719	0,01441	0,5433	0,03486	0,3609	0,04086
Preci. Equilibrada		1,000000	0,91157	0,9973	1,00000	0,9937	0,96254

Fonte: Autores (2021).

Por fim, com o algoritmo validado no *Software* RStudio 4.1.1, aplica-se a predição para a imagem *raster* da BHRS. Sabendo-se que ao finalizar o processamento ocorrem pequenas inconsistências na classificação de alguns *pixels*, no QGIS 3.16, são realizadas correções manuais nas células por meio da ferramenta de edição matricial.

Elaboração e avaliação da fragilidade potencial e emergente da BHRS

A metodologia para mapeamento da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados adota o método descrito por Ross (1994). Conforme o autor, a obtenção dos graus de fragilidade natural/potencial de uma área exige uma análise multicritério a partir de estudos básicos de substrato rochoso, solo, declividade e clima, enquanto a fragilidade ambiental/emergente, além de considerar estas características, contempla também informações de uso da terra.

Partindo destes pressupostos, atribuiu-se pesos às classes de cada unidade temática, tendo como base a sua suscetibilidade ambiental, tabelas 02 e 03. Para as interpretações, o trabalho fundamenta-se nas caracterizações de Ross (1994), Gomes (2013) e Lisboa *et al.* (2017).

Após tratar integradamente as unidades ambientais, as informações são correlacionadas em ambiente SIG, o que possibilita um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas das fragilidades do terreno. No QGIS 3.16, a técnica de álgebra de mapas permite uma sobreposição dos dados levantados, para isso emprega-se as equações 01 e 02, conforme apresentadas em Lisboa *et al.* (2017), descritas a seguir.

$$FRAGILIDADE\ POTENCIAL\ (FP) = (S.R + S + D + C) / 4 \quad (Equação\ 1)$$

Em que: S.R = Substrato Rochoso; S = Solos; D = Declividade; C = Clima

$$FRAGILIDADE\ EMERGENTE\ (FE) = (F.P + U.S) / 2 \quad (Equação\ 2)$$

Em que: FP = Fragilidade Potencial; U.S = Uso e Ocupação do Solo.

Tabela 02 – Pesos de fragilidade para os atributos avaliados na área em estudo

Classes de substrato rochoso	Pesos
Complexo Almadina (kinzigito; rocha calcissilicática; formação ferrífera; formação manganesífera)	2,2
Corpos metamáficos e metaultramáficos	2
Ibicaraí - enderbito - fácies 1	2,2
Ibicaraí - enderbito - fácies 2	2,2
Ibicaraí - enderbito - fácies 3	2,2
Ibicuí-Ipiaú - ortognaisses miloníticos	2
Ibirapitanga – Ubaitaba (metamonzonito, metasienito, metagabronorito,	2,2

metamonzodiorito)	
Itabuna – sienito	2,3
Classes de solos	Pesos
Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico	4,0
Chernossolo Argilúvico Órtico	3,0
Luvisso solo Crômico Órtico	3,5
Luvisso solo Crômico Pálico	3,5
Luvisso solo Háplico Pálico	3,8
Classes de declividade (%)	Pesos
< 6	1,0
6 – 12	2,0
12 – 20	3,0
20 – 30	4,0
30 >	5,0
Classes climatológicas	Pesos
Af	3,0
Am	2,3
Aw	2,0
CFa	3,0
CFb	3,0

Fonte: Adaptado de Lisboa *et al.* (2017).

Tabela 03 – Graus de Proteção das Classes de Uso e Ocupação da Terra.

Classes de uso e ocupação da terra	Grau de Proteção	Pesos
Área urbanizada	Muito Baixa	5
Pasto limpo/sujo	Média	3
Solo exposto	Muito Baixa	5
Floresta não manejada/SAF Cacau Cabruca	Muito Alta	1

Fonte: Adaptado de Lisboa *et al.* (2017).

Corroborando com Franco *et al.* (2012), sabendo que os graus de fragilidades não são necessariamente números inteiros, visto que seu peso é determinado pelo atributo ambiental analisado, torna-se necessário agrupar os valores obtidos em intervalos de fragilidade, Tabela 04.

Tabela 04 – Intervalos dos Graus de Fragilidade Natural e Ambiental.

Classe	Grau de Fragilidade
Muito baixo	1 - ≤ 1,5
Baixo	1,5 - ≤ 2,5
Médio	2,5 - ≤ 3,5
Alto	3,5 - ≤ 4,5
Muito Alto	4,5 - 5

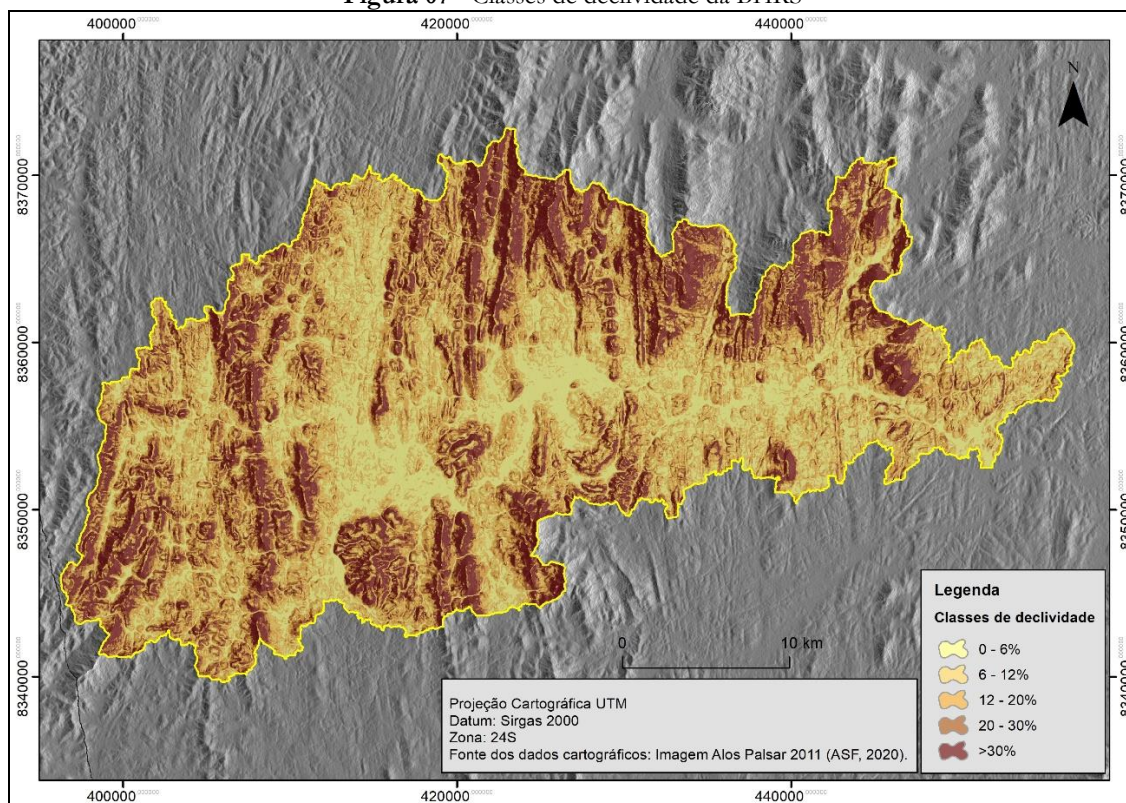
Fonte: Franco *et al.* (2012).

Resultados e Discussões

Diagnóstico dos componentes físicos e do uso e ocupação do solo da BHRS

A bacia do rio Salgado está localizada no sul da Bahia, sendo parte integrante da bacia do Rio Cachoeira. Quanto à característica morfométrica, a BHRS possui sistema de drenagem de segunda (2ª) ordem, sendo considerado pouco ramificado. A variação altimétrica varia de 95m a 975m, sendo à altitude média de 535m (Silva, 2019). As classes de declividade são bem distribuídas ao longo da bacia, com percentuais variáveis de 0 a >30%. Na Figura 07 e Tabela 05 pode-se observar as classes de declividade diagnosticadas.

Figura 07 - Classes de declividade da BHRS



Fonte: Autores (2021).

Tabela 05 – Distribuição das Classes de Declividade da BHRS

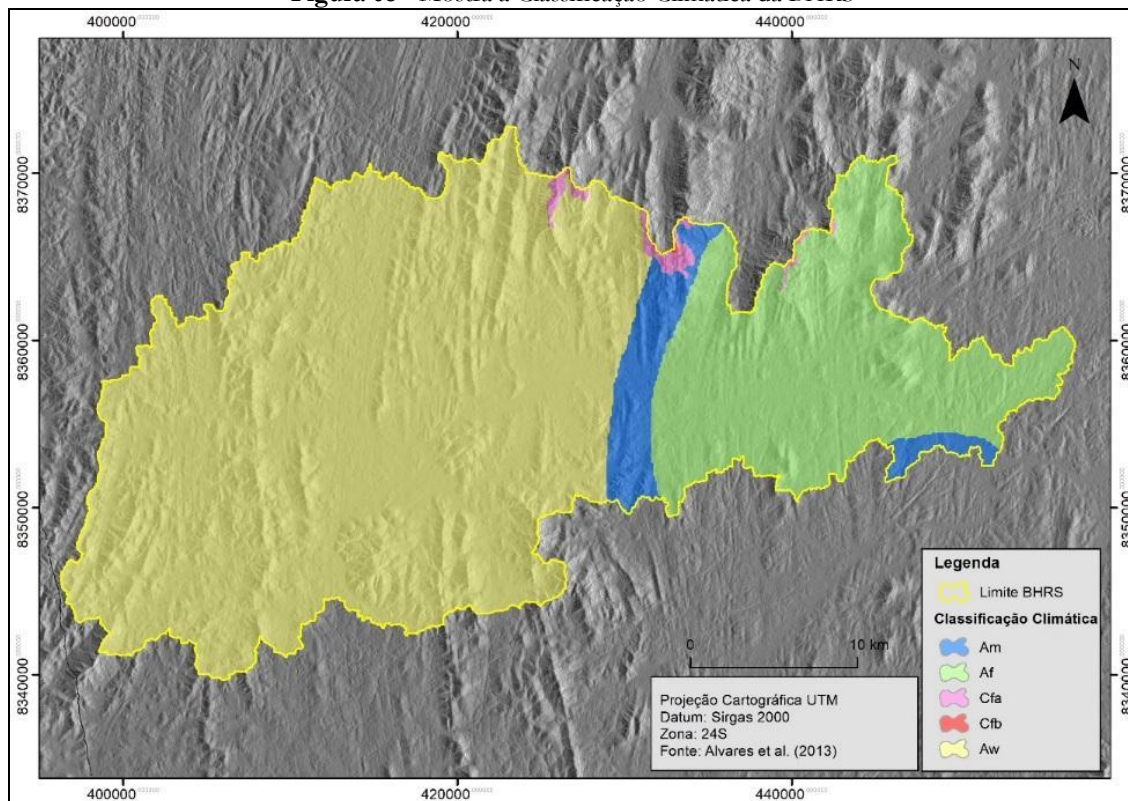
Classes Analisadas	Km ²	%
0 – 6%	187,71	17,95
6 – 12%	229,90	21,99
12 – 20%	230,79	22,08
20 – 30%	192,96	18,46
> 30%	204,02	19,52
Total	1.045,38	100,0

Fonte: Autores (2021).

De acordo com Sala (2010), o estudo do relevo com a identificação das áreas de maior declividade, permite identificar as áreas mais propensas à fragilidade ambiental, já que o grau de inclinação do terreno exerce grande influência na velocidade do escoamento superficial e nestes setores, o solo se torna mais suscetíveis de remoção, principalmente nas vertentes desprovidas de vegetação.

Os atributos para classificação climática pelo método proposto por Köppen e ajustado por Alvares *et al.* (2013) para o Brasil, demonstra que o clima predominante na bacia, é do tipo tropical com inverno seco, com 70,69%, seguido do tropical úmido, com 23,84%. Conforme a Figura 08, percebe-se unidades climáticas em menor proporção, sendo identificado o clima tropical de monção, com 4,63% da área de estudo e climas subtropicais com verão quente, com 0,81%, e verão temperado, com 0,33%.

Figura 08 - Mostra a Classificação Climática da BHRS



Fonte: Adaptado de Alvares *et al.* (2013).

As classes climatológicas são caracterizadas por episódios de precipitação pluviométrica nos períodos analisados, sobrevivendo por pluviosidade média mensal superior a 60 mm e anual superior a 1.500 mm. Nota-se que no Brasil os subtipos do Clima subtropical são localizados em regiões com altitudes topográficas que variam de 750 a 900 m, incidindo o Cfa pela presença de temperatura média do mês mais quente acima ou igual a 22°C e o Cfb, temperatura média do mês mais quente abaixo de 22 °C (Alvares *et al.*2013). A análise da Tabela 06 mostra que há uma grande diversidade climática, no entanto, há maior predomínio do Clima Tropical, com inverno seco que corresponde a 70,69%.

Tabela 06 – Distribuição das Classes Climáticas da BHRS

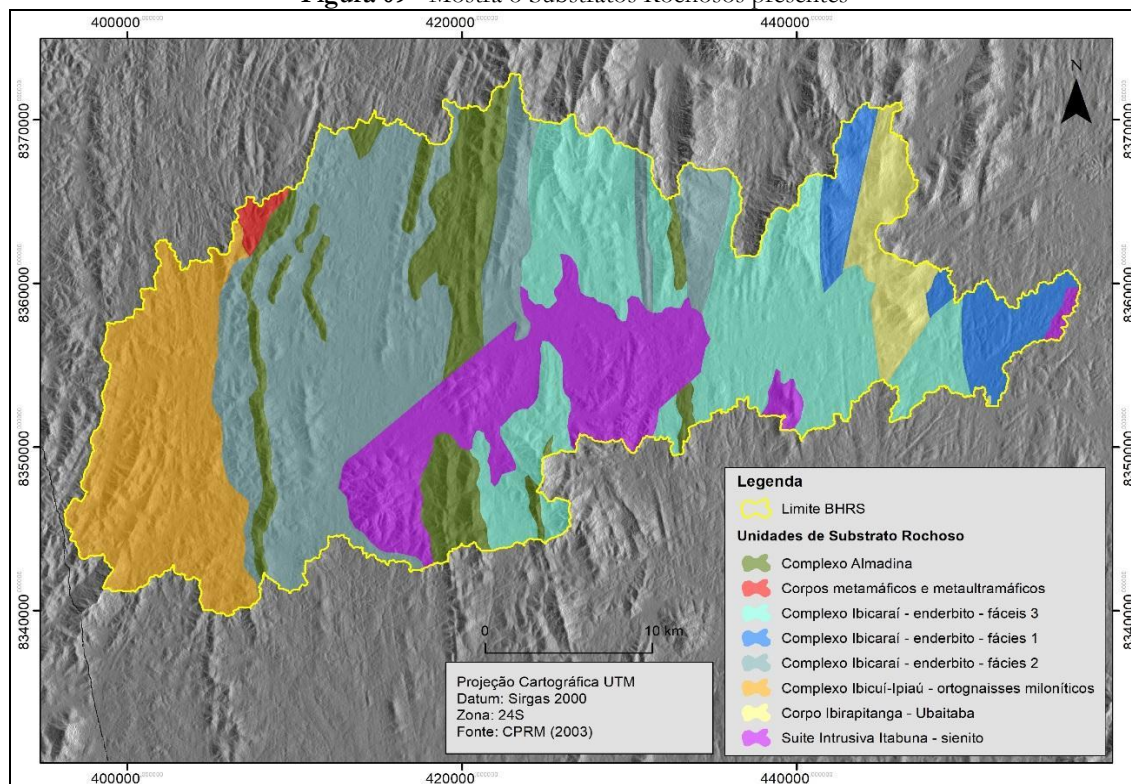
Classes Climatológicas	Área na Bacia – km²	Área na Bacia – %
Af - Clima Tropical, sem estação seca	249,26	23,84
Am - Clima Tropical, de monção	48,43	4,63
Aw - Clima Tropical, com inverno seco	738,95	70,69
Cfa - Clima Subtropical, com verão quente	8,41	0,81
Cfb - Clima Subtropical, com verão temperado	0,33	0,03
Total	1.045,38	100,0

Fonte: Autores (2021).

A distribuição sazonal das chuvas é de grande importância na determinação das perdas de solo em áreas ocupadas pela agricultura, as quais podem permanecer sem cobertura vegetal durante um período do ano dependendo do tipo de manejo a que estejam submetidas.

A BHRS possui 8 (oito) unidades geológicas, como mostra a Figura 09. Complexo Almadina (10,96%), Corpos metamáficos e metaultramáficos (0,52%), Depósitos Aluvionares (0,52%), Complexo Ibicaraí - enderbito - fácies 1 (4,78%), Complexo Ibicaraí - enderbito - fácies 2 (27,89%), Complexo Ibicaraí - enderbito - fácies 3 (22,98%), Complexo Ibicuí-Ipiaú - ortognaisses miloníticos (14,81%), Corpo Ibirapitanga – Ubaitaba (4,04%), e Suíte Intrusiva Itabuna – sienito (14,02%).

Figura 09 - Mostra o Substratos Rochosos presentes



Fonte: Adaptado de CPRM (2003).

A geologia regional é formada principalmente por rochas metamórficas, intrusivas da família do Ortognaise, havendo exceção litológica em locais de acúmulo hídrico, com relevante quantidade de sedimentos de cunho marinho-continental. Existe predominância de um relevo amadurecido em poucas regiões, pois, destaca-se ao longo da bacia do rio Salgado uma grande paisagem com relevos menos esculpidos e serras próximas a regiões de interflúvios.

As rochas ígneas encontradas localmente são datadas do período Arqueano, ao Proterozóico, sendo pertencentes a grandes grupos que afloram com ocorrências de composição quartzítica de classificações complexas de cunho Cristalino, com faixas claras de quartzo e feldspato e faixas escuras ricas em biotitas e anfibólio, que apresentam variações como o Basalto e o Quartzito advindos do metamorfismos contemporâneos que aglutinaram cristais de quartzo, e proporcionou um litotipo que caracterizou uma hidrologia fissural, com falhas geológicas lineares (Ab'saber, 1969; Fernandes, 2004; Silva *et al.*, 2019). A Tabela 07 mostra as unidades geológicas encontradas na BHRS, assim como sua área absoluta e relativa.

Tabela 07 – Distribuição das Classes de Substrato Rochoso da BHRS

Classes Analisadas	Km²	%
Complexo Almadina (kinzigito; rocha calcissilicática; formação ferrífera bandada (BIF'S); formação manganésífera)	114,54	10,96
Corpos metamáficos e metaultramáficos	5,39	0,52
Complexo Ibicaraí - enderbito - fácies 1	49,97	4,78
Complexo Ibicaraí - enderbito - fácies 2	291,59	27,89
Complexo Ibicaraí - enderbito - fácies 3	240,28	22,98
Complexo Ibicuí-Ipiaú - ortognaisses miloníticos	154,78	14,81
Corpo Ibirapitanga – Ubaitaba (metamonzonito, metasienito, metagabronorito, metamonzodiorito)	42,24	4,04
Suíte Intrusiva Itabuna – sienito	146,59	14,02
Total	1.045,38	100,0

Fonte: Autores (2021).

Em relação às unidades pedológicas, na tabela 08, ressalta-se o Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, corresponde 15,39% dos solos da área de estudo. São encontrados na bacia sobre relevos ondulados a escarpados, sendo mais suscetíveis aos processos erosivos, devido a própria dissecação do relevo. São solos minerais, com profundidade e drenagem variável. Apresentam rochas cristalinas ou sob influência destas, além de horizonte de acumulação de argila, com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita (Correa *et al.*, 2008).

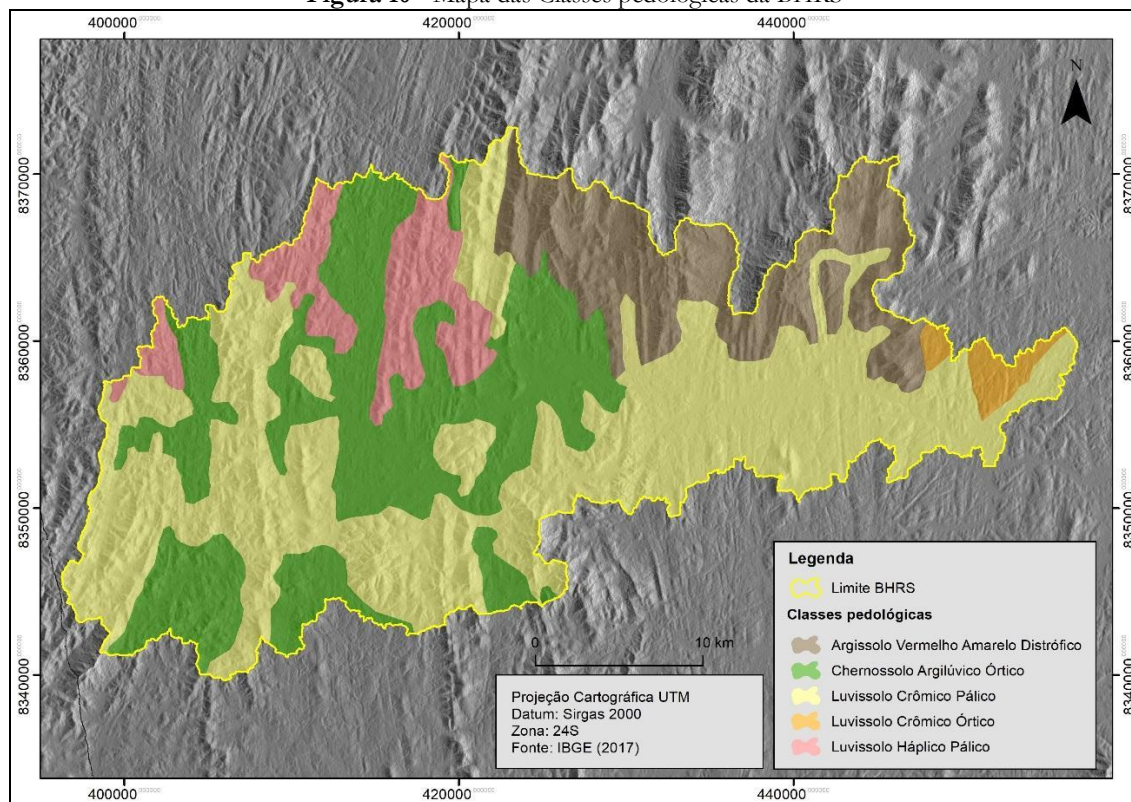
Tabela 08 – Distribuição das Classes de Solos da BHRS

Classes Analisadas	Km²	%
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	160,95	15,39
Chernossolo Argilúvico Órtico	292,50	27,98
LuvissoLo Crômico Órtico	16,12	1,54
LuvissoLo Crômico Pálico	491,49	47,02
LuvissoLo Háplico Pálico	84,32	8,07
Total	1.045,38	100,0

Fonte: Autores (2021).

Na área de estudo há o predomínio de LuvissoLo, Figura 10. Apresentam coloração entre vermelho a amarelo, com saturação por bases nos horizontes subsuperficiais, favorecendo fitofisionomias de espécies arbóreas com enraizamento profundos em locais com relevo suave a ondulado.

Figura 10 - Mapa das Classes pedológicas da BHRS



Fonte: Adaptado do IBGE (2017).

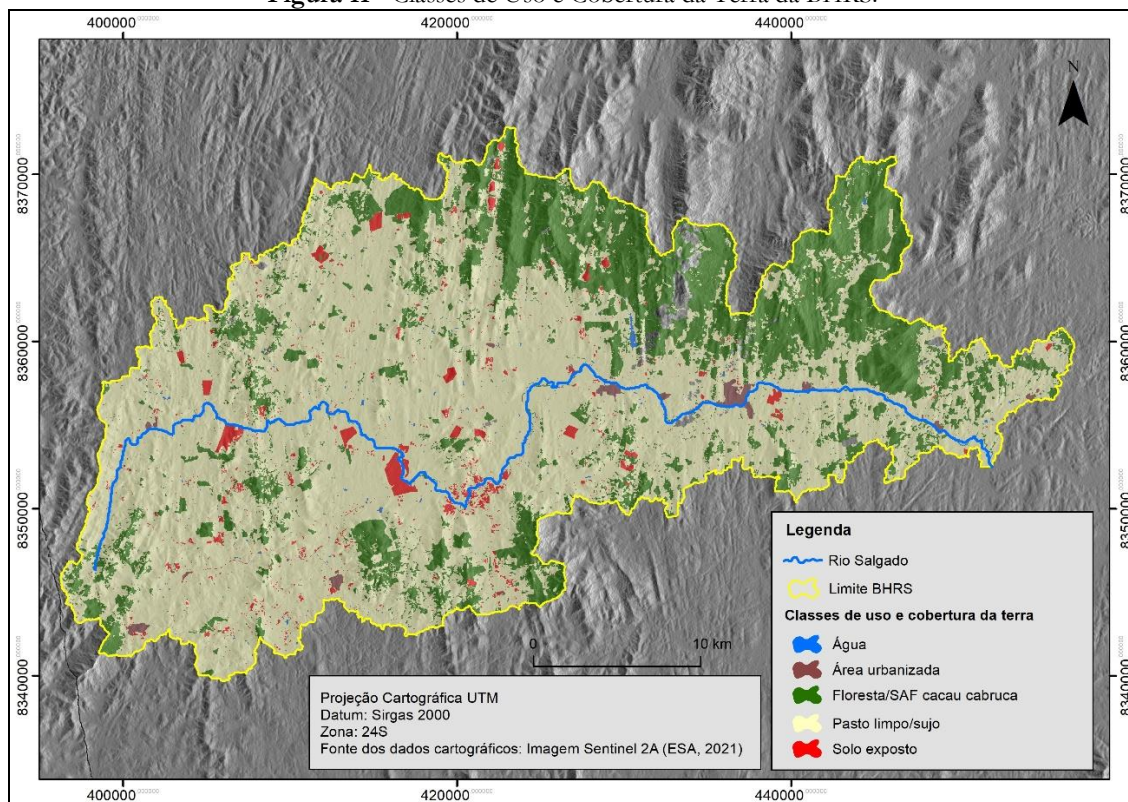
Os estudos recentes realizados por Santos *et al.* (2018) demonstram que o Luvisso Crômico Órtico na maioria das vezes apresentam contato lítico dentro de 50 cm da superfície do solo, enquanto que o Luvisso Crômico Pálico tem principalmente característica de textura arenosa desde a superfície do solo até no mínimo 50 cm e no máximo 100 cm de profundidade, porém somente o Luvisso Háplico Pálico tem maior predomínio em encostas com relevos ondulados em grandes altitudes com no máximo 100 cm de profundidade no solo.

Com 27,98% se visualiza o tipo classificado como Chernossolo Argilúvico Órtico. São solos pouco profundos com argila de atividade e saturação por bases altas. Devido à textura argilosa ou muito argilosa, que na maioria das vezes incidem em relevo ondulado ou fortemente ondulado, existem limitações de uso.

Segundo Spörl (2001), a resistência dos solos aos processos erosivos é consequência do tipo de solo, e também, das suas características físicas. O grau de desenvolvimento do solo é um importante elemento para estabelecer valores às classes de vulnerabilidade. Uma unidade de paisagem é estável quando favorece o processo de pedogênese, ou seja, o ambiente favorece a formação e o desenvolvimento do solo.

Em relação às classes de uso e ocupação da terra identificadas na bacia, a Figura 11 apresenta as diferentes classes diagnosticadas e suas espacializações na BHRS. A Tabela 09 apresenta a quantificação de suas áreas absoluta e relativa.

Figura 11 - Classes de Uso e Cobertura da Terra da BHRS.



Fonte: Autores (2021).

Tabela 09 – Distribuição das Classes Uso da Terra da BHRS

Classes Analisadas	Área na Bacia – km ²	Área na Bacia – %
Água	2,84	0,27
Área urbana	6,09	0,58
Floresta/SAF cacau cabruca	280,90	26,87
Nuvem	10,58	1,01
Pasto limpo/sujo	721,01	68,97
Solo exposto	23,96	2,30
Total	1.045,38	100,0

Fonte: Autores (2021).

Na área de estudo em quase toda sua totalidade se verifica a presença de pasto, com aproximadamente 68,97% do total verificado no local. Apesar dos inúmeros conflitos gerados na região, a BHRS, revela-se como um espaço territorial ambientalmente importante, por ainda resguardar remanescentes florestais do bioma Mata Atlântica.

Na região Norte-Nordeste, com 26,87%, se observa maior ocorrência de fragmentos florestais associados ao cultivo de cacau em sistema agroflorestal, conhecido localmente como sistema cabruca. Este sistema de cultivo consiste na plantação do cacau utilizando-se a sombra do dossel da floresta (Sambuichi *et al.*, 2012).

Outras classes são constatadas, como mostra a Figura 11, são elas: água, com 0,27%, área urbanizada, com 0,58% e solo exposto, com 2,3%. Esta última está relacionada a ambientes onde ocorreram a remoção da camada superficial do solo, seja em decorrência de atividades de mineração, preparo de solo para agricultura e estradas.

Avaliação das fragilidades potencial e emergente da BHRS

A fragilidade potencial é adquirida por meio da dinâmica natural do meio físico, levando em evidência as ações formadoras da composição climática, geológica, geomorfológica e pedológica. Com a correlação destes elementos naturais se torna possível avaliar as condicionantes que podem ocasionar eventos erosivos. Com base na Tabela 10, na bacia do Rio Salgado são notáveis três classes de fragilidade potencial, são eles: baixo, médio e alto.

Tabela 10 – Graus de Fragilidade Potencial da BHRS

Graus de Fragilidade Potencial	Km²	%
Baixo	356,89	34,14
Médio	649,32	62,11
Alto	39,17	3,75
Total	1.045,38	100,0

Fonte: Autores (2021).

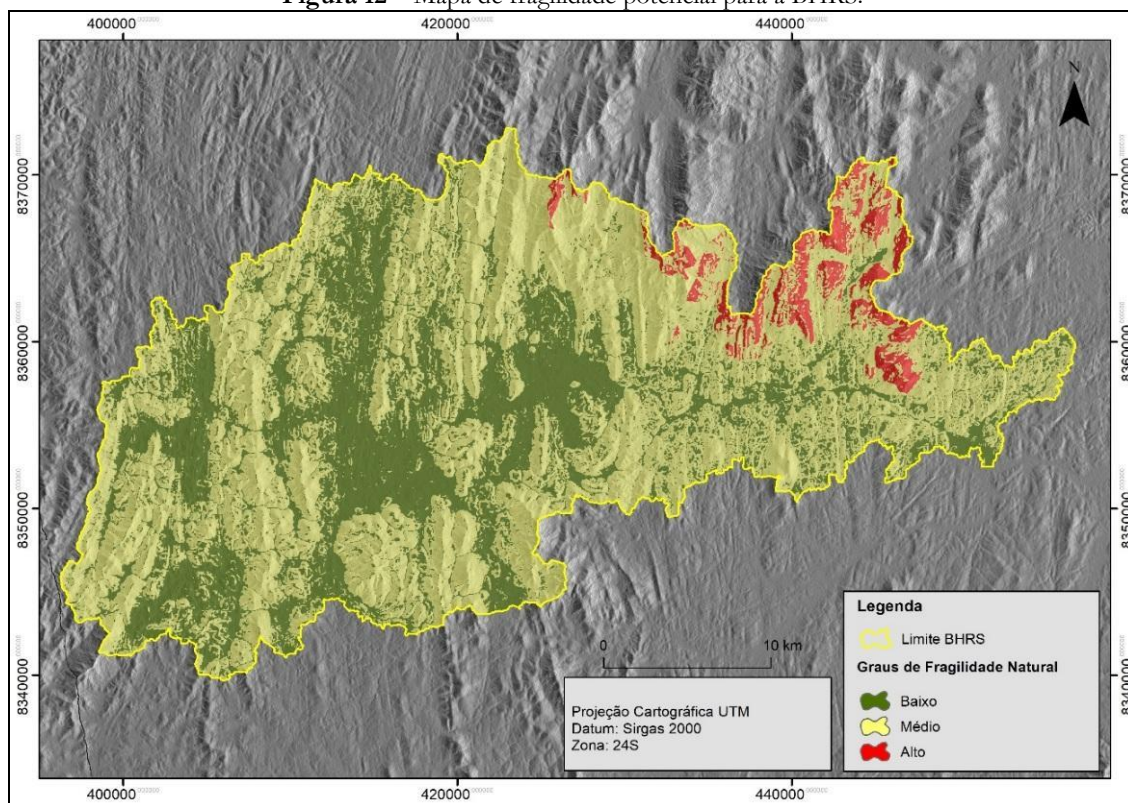
A zona de menor fragilidade natural, baixo, está correlacionada ao relevo plano e relevo plano ondulado, os solos menos friáveis e aos substratos rochosos menos suscetíveis às ações morfogenéticas do relevo.

A extensão de fragilidade média corresponde a áreas de Luvisolo Crômico Pálido de textura arenosa, em ambientes com relevo forte ondulado, apresentando acumulação fluvial o que é uma condicionante de suscetibilidade à erosão, devido aumentar as chances de desagregação e remoção das partículas do solo.

Ressaltasse, conforme apresenta a Figura 12, a região norte-nordeste da BHRS, está relacionada a relevos forte ondulados, assim como na classe anteriormente diagnosticada, porém quando sobrepostos a climas com altas taxas pluviométricas, como o tropical sem estação seca, e solos mais vulneráveis, como os Argissolos, os seus graus se elevam até o nível alto.

Os resultados encontrados estão de acordo com Spörl (2001), que ressalta que na determinação da fragilidade potencial, a variável índices de dissecação do relevo ou declividade é que determina o grau de fragilidade de cada área analisada, ou seja, a fragilidade potencial caracteriza-se pela condição natural do terreno a degradar-se, sem considerar as possíveis intervenções antrópica.

Figura 12 – Mapa de fragilidade potencial para a BHRS.



Fonte: Autores (2021).

Para a determinação das classes de fragilidade emergente da Bacia do Rio Salgado, vale-se dos elementos físicos ambientais e do uso e ocupação da terra. Ressalta-se que a inserção das formas, que sobretudo configuram áreas urbanizadas e de uso antrópico, elevam os graus de vulnerabilidade em determinados locais. Assim como em ambientes com formações florestais, alto peso de proteção ambiental, interligados a sistemas naturais mais suscetíveis a eventos erosivos, diminuem os graus de fragilidade.

Conforme a Tabela 11, verifica-se que 69,33% correspondem a maior percentualidade adquirida, e equivale ao grau de fragilidade médio; 27,87% da área da bacia apresenta um grau de fragilidade baixo, e por último com menor percentual a zona com alto grau de fragilidade com aproximadamente 2,8%.

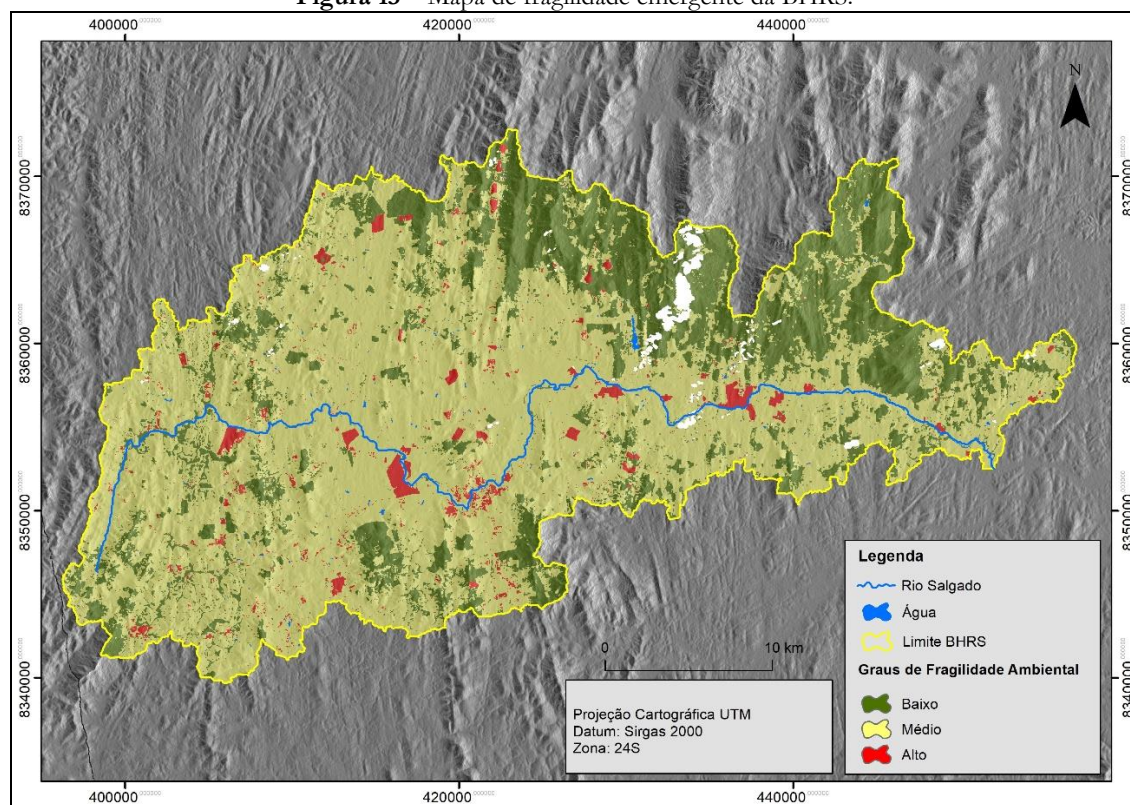
Tabela 11 – Graus de Fragilidade Emergente da BHRS.

Graus de Fragilidade Emergente	Km ²	%
Baixo	291,38	27,87
Médio	724,80	69,33
Alto	29,20	2,8
Total	1.045,38	100,0

Fonte: Autores (2021).

Na classe de fragilidade baixa, Figura 13, encontram-se áreas de florestas, as quais contribuem, significativamente, para essa classificação. Há uma declividade maior nessas áreas, as quais não se tornam tão atrativas para a formação de pastagens e por consequência ainda estão preservadas.

Figura 13 – Mapa de fragilidade emergente da BHRS.



Fonte: Autores (2021).

A classe de fragilidade média se distribui por toda a bacia e concentram-se, principalmente, nas áreas de pasto limpo/sujo. Ressaltasse que o avanço das atividades agropecuárias na bacia, muitas vezes sem um manejo adequado, torna essas áreas mais susceptíveis à erosão.

Na fragilidade alta, encontram-se áreas de solo exposto e áreas urbanizadas. O uso excessivo da terra pode provocar alterações no ciclo hidrológico, que dão origem a impactos ambientais negativos, tais como o aumento das taxas de erosão do solo, da

exportação de sedimentos das bacias hidrográficas e do escoamento superficial, principalmente nesses casos nos quais se reduz ou elimina a cobertura vegetal.

Pela comparação entre os mapas de fragilidade potencial e emergente, observa-se que áreas de alta fragilidade potencial, quando considerado uma menor ação antropogênica e algum grau de conservação da cobertura vegetal existente, notadamente fragmentos florestais, a categoria altera-se para classe baixa de fragilidade emergente. Todo o entendimento da fragilidade potencial direciona a compreensão da importância da cobertura vegetal sobre os territórios. Um ambiente naturalmente frágil é altamente relevante a necessidade de conservação e/ou proteção da cobertura vegetal, independente de sua densidade e dos processos ecológicos envolvidos, com exceção das coberturas vegetais temporárias de caráter comercial, sobre as quais se envolvem revolvimentos frequentes da estrutura da camada fértil de solo (França, 2018). Ross (1994) classifica terrenos com coberturas vegetais densas como categorias de alto grau de proteção, consequentemente com baixas possibilidades de indução às fragilidades ambientais altas, incluindo-se, inclusive, as coberturas densas de caráter comercial, tais como as florestas plantadas.

Assim, destaca-se a importância da conservação da cobertura vegetal, pois as influências das ações antrópicas na mudança da paisagem estão diretamente relacionadas à potencialização dos riscos ambientais.

Conclusões

Na totalidade da bacia hidrográfica do rio Salgado verifica-se a presença de pasto em grande escala e as ações morfodinâmicas mais atuantes são os processos de escoamento difuso, que está associado à erosão laminar moderada em todo perímetro. Ressalta-se ainda a presença de colinas e serras pré-litorâneas sob cultivo em sistema agroflorestal de cacau e áreas isoladas de policultura, pastagem e fragmentos de vegetação secundária da floresta em diversos estágios de regeneração.

Os dados de fragilidade potencial obtidos neste estudo demonstram que, na bacia, as classes pedológicas e geomorfológicas são determinantes em grande parte no controle das fragilidades, que mantém um grau variando em geral de baixo a média. Enquanto que, na fragilidade emergente, a extensa área antropizada eleva o grau de fragilidade nestes ambientes (médio a alto).

Na fragilidade potencial, as classes caracterizadas com grau alto diminuem sua vulnerabilidade para baixo, na fragilidade emergente. Isso ocorre, pois, estes ambientes,

mesmo que relacionados a ecossistemas mais frágeis, possuem um maior grau de proteção, devido suas encostas estarem ainda cobertas por remanescentes de mata nativa e sistema agroflorestal (cacau cabruca).

Podemos notar, de forma geral, com os dados estatísticos apresentados e os resultados especializados, que o algoritmo *random forest* é, efetivamente, uma escolha adequada para a boa classificação da imagem Sentinel 2A, na região em estudo.

Por fim, os resultados da pesquisa permitem a elaboração de um banco de dados digital detalhado, onde as informações levantadas servirão como subsídios para o planejamento e a gestão da área, com vistas a um desenvolvimento econômico mais sustentável e que vise à conservação/preservação dos recursos ambientais.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradece-se aos professores-pesquisadores da Universidade Federal do Sul da Bahia-UFSB, por todo suporte para o desenvolvimento do trabalho, assim como ao Programa de Pós-Graduação em Biosistemas da UFSB.

Referências

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart/BW - Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANJINHO, P. S. Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study. **Land Use Policy**, v. 100, 2021.
- ASF. **Alaska Satellite Facility**. 2020. Vertex is the Alaska Satellite Facility's data portal for remotely sensed imagery of the Earth. NASA. Disponível em: <<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>>. Acesso em: 22/11/2021.
- BRASIL. Lei nº 9433/96 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Casa Civil, 1997.
- BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.

CORREA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; FONTES, M. P. F.; TORRENT, J.; CURI, N. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1017-1031, 2008.

DIAS, N. de O.; MACHADO, V. S.; MARCATO JUNIOR, J.; OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M. Análise morfométrica de bacia hidrográfica utilizando dados de diferentes modelos digitais de superfície. **Colloquium Exactarum**, v. 11, n. 4, p. 23–35. 2019.

ESA – The European Space Agency. **Sentinel-2**. 2021. Disponível em:
<https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2>.
Acesso em: 22/11/2021.

FERNANDES, C. C.; PODOS, J.; LUNDBERG, J. G. Amazonian Ecology: Tributaries Enhance the Diversity of Electric fishes. **Science**, v. 305, 2004.

FONTES, M. J. V.; ALBUQUERQUE, H. M.; FONTES, T. V. Qualidade e inovação na cooperativa agroindustrial no sul da Bahia. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 17481-17507, 2019.

FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. da S. Relação Qualidade da Água e Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo – SP, v. 42 (suppl. 1), p. 114 – 127, 2012.

FRANÇA, L. C. J. **Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil**. 2018. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

FRANÇA, L. C. de J.; MUCIDA, D. P.; DE MORAIS, M. S.; CATUZZO, H.; ABEGÃO, J. L. R.; PEREIRA, I. M. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 5, p. 589-599, 2019.

GOMES, R. L. Avaliação da Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Almada – Bahia. **Boletim Geográfico**, Maringá-PR, v. 31, n. 03, p. 41–53, 2013.

HUANGA, Z.; YUAN, X.; LIU, X. The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability. **Journal of Hydrology**, v. 601, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Mapeamento de Recurso Naturais do Brasil. **Geociências**: dados, informações e produtos do IBGE: downloads: arquivos vetoriais (shp). 2017. Escala 1:250.000.

JENNY, H. Factors of Soil Formation: a system of quantitative pedology. New York: **McGraw-Hill**, 1941. 281 p.

LI, C.; WANG, J.; WANG, L.; HU, L.; GONG, P. Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with Landsat thematic mapper imagery. **Remote Sens.**, v.6, n. 2, p. 964-983, 2014.

LISBOA, G. P.; MOREAU, M. S.; GOMES, R. L.; MORAES, M. E. B. Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Una (Estado da Bahia), como subsídio

para o planejamento e a gestão territorial. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 42, n. 2, p. 225-242, 2017.

OLIVEIRA-ANDREOLI, E. Z.; DE MORAES, M. C. P.; FAUSTINO, A. da S.; VASCONCELOS, A. F.; COSTA, C. W.; MOSCHINI, L. E.; MELANDA, E. A.; JUSTINO, E. A.; DI LOLLO, J. A.; LORANDI, R. Multi-temporal analysis of land use land cover interference in environmental fragility in a Mesozoic basin, southeastern Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 12, 2021.

PELLETIER, C.; VALERO, S.; INGLADA, J.; CHAMPION, N.; DEDIEU, G. Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 187, 156–168, 2016.

PEREIRA, M.G; DOS ANJOS, L. H. C.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PINTO, L. A. da S. R.; DA SILVA NETO, E. C.; FONTANA, A. Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. (Org). **Formação, classificação e cartografia dos solos**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

ROCHA FILHO, C. A. **Recursos hídricos**. Diagnóstico Sócio-Econômico da Região Cacaueira. Rio de Janeiro: Convênio ICA/CEPLAC, 1976. v. 5.

ROSA, M.R. Classificação do Padrão de Ocupação Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2. **Revista do Departamento de Geografia/USP**, n. esp., p. 15-21, 2018.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia/USP**. São Paulo, n. 8, 1994.

SALA, M. G.; GASPARETTO, N. V. L. Fragilidade ambiental dos solos em bacias hidrográficas de pequena ordem: O caso da bacia do Ribeirão Maringá-PR. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 113-126, 2010.

SAMBUICH, R. H. R.; VIDAL, D. B.; PIASENTIM, F. B.; JARDIM, J. G.; VIANA, T. G.; MENEZES, A. A.; MELLO, D. L. N.; AHNERT, D.; BALIGAR, V. C. Cabruca agroforest in Southern Bahia, Brazil: tree componente, management practices and tree species conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 4, p. 1055-1077, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; DE ALMEIDA, J. A.; DE ARAUJO FILHO, J. C.; DE OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Solos - Livro técnico (INFOTECA-E), 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Mapa Geológico do Estado da Bahia. **GEOSGB**: dados, informações e produtos do Serviço Geológico do Brasil: downloads: arquivos vetoriais (shp). 2003. Escala 1:1.000.000.

SILVA, B. T. Análise Morfométrica da Bacia hidrográfica do rio Salgado, Bahia, Brasil. **Revista Sertão Sustentável**, v. 1, n. 1, p. 76-82, 2019.

SILVA, K. B.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B. Confluência de rios e suas contribuições para estudos em bacias hidrográficas: estudo de caso em rios da região do Sul da Bahia. **Revista Geografar**, Curitiba/PR, v. 14, n. 1, p. 170-187, 2019.

SILVA, T. A.; DUARTE, M. L.; GATO, L. C.; GUANDIQUE, M. E. G. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Candeias, RO. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, 2020.

SILVA, V. A.; LAMMLE, L.; PEREZ FILHO, A. Alterações no Baixo Curso do Rio Jequitinhonha e seus Impactos Geomorfológicos no Delta: o caso da Usina Hidrelétrica de Itapebi, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, 2840-2850, 2021.

SILVA, V. A.; PEREZ FILHO, A.; MOREIRA, V. B.; LAMMLE, L.; TORRES, B. A.; AYER, J. E. B.; SPALEVIC, V.; MINCATO, R. L. Characterization and Geochronology of the Deltaic System from Jequitinhonha River, Brazil. **Agriculture & Forestry**, v. 67, n. 3, p. 121-134, 2021.

SOTHE, C.; LIESENBERG, V.; DE ALMEIDA, C. M.; SCHIMALSKI, M. B. Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do Parque Nacional de São Joaquim empregando imagens Landsat-8 e Rapideye. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 3, p. 389-404. 2017.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Como citar:

ABNT

LISBOA, G. P. [et al.]. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados no Sul do Estado da Bahia, Brasil. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 10, n. 01, e17807, 2024. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e17807>>. Acesso em: 03 mar. 2025.

APA

Lisboa, G. P. [et al.]. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados no Sul do Estado da Bahia, Brasil. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 10, n. 01, e17807, 2024. Recuperado em 03 março, 2025, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e17807>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.
Copyright © 2025, Universidade Federal do Maranhão.

