



## DETERMINAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À EROÇÃO E PRIORITÁRIAS À RECUPERAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTENGI.

Matheus Natan Ferreira Alves de Sousa, UFRN, matheusnatancivil@gmail.com

Caio Victor Macêdo Pereira, UFRN, caiomp2010@hotmail.com

Felipe Souza de Araujo, UFRN, felipe.souza26@gmail.com

Ivo Cavalcanti Neto, UFRN, ivocavalcantisjs@gmail.com

Joyce Clara Vieira Ferreira, Funpec, joyceclaravfge@gmail.com

Paulo Eduardo Vieira Cunha, UFRN, pauloeduardovc@gmail.com

Carlos Wilmer Costa, UFRN, carloswilmercosta@gmail.com

### Resumo

Em escala global, as paisagens sofrem transformações lentas e naturais, porém, à medida que as ações antrópicas modificam a cobertura da terra esses processos se aceleram. Modelos ambientais que permitem estimar a perda de solos podem auxiliar o planejamento espacial frente às ações de recuperação de áreas degradadas. Então, o presente trabalho teve por objetivo determinar a vulnerabilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi, abrangendo uma área de 4170 km<sup>2</sup>. Também foi possível avaliar a perda de solo e a precisão dos produtos cartográficos a partir de vistorias de campo. Como resultado, cerca de 80% da bacia se encontra moderadamente vulnerável, ainda foram identificadas nove áreas críticas, que, por meio de inspeção *in situ*, comprovaram a degradação apontada em ambiente SIG.

**Palavras Chaves:** Análise multicritério; Fotointerpretação; Pastagem;

### 1. Introdução

As paisagens terrestres contribuem direta e indiretamente para o bem-estar humano (COSTANZA et al., 1997), um exemplo são os serviços hidrológicos das florestas, como uma primeira barreira para diminuir a força das chuvas, filtrando a água e liberando-a gradualmente diminuindo o escoamento superficial. Entretanto, esses serviços só são valorados quando o desmatamento resulta em desequilíbrio nas condições naturais de infiltração e escoamento das precipitações, permitindo processos erosivos, assoreamentos, inundações e degradação da qualidade da água (RIVIECCIO et al., 2017).

Tais unidades paisagísticas estão em constante mudança, tanto por ações antrópicas como por fenômenos naturais. Cada agente modificador da paisagem possui um ritmo, ocorrendo transformações rápidas (minutos a anos) ou lentas (décadas a milênios). Embora a formação de solo seja um processo lento, sua movimentação pela erosão é rápida e suscetível à aceleração pelas ações antrópicas. A cada ano a superfície da terra perde cerca de 0,90 a 0,95 mm de solo (PHAM; DEGENER; KAPPAS, 2018). A perda de solo global cresceu 20% de 2001 a 2012 (BORRELLI et al., 2017), devido à supressão vegetal e a consequente mudança da cobertura das terras. O uso do solo, principalmente para a produção de alimentos, resulta em sua exposição aos agentes erosivos que lixiviam o solo, levando ao esgotamento de nutrientes e eutrofização dos corpos hídricos. Solos em regiões de climas tropicais são mais suscetíveis a processos erosivos por possuírem maior zona ativa com variação constante da umidade (ALMEIDA et al., 2015). Além



disso, as pastagens, um dos principais agentes erosivos, ocupam parte significativa do Brasil (THOMAZ & DIAS, 2009).

A evolução da perda de solo se mostra acelerado no mundo todo, necessitando o estabelecimento de níveis limites de erosão para mitigar perdas econômicas (FAO, 2019). A crise hídrica no semiárido brasileiro entre os anos de 2012 e 2018 é mais uma evidência do reforço desse processo. Assim, novas formas de planejamento territorial e hídrico que se fundamentem em análises geomorfológicas, geológicas, pedológicas, climatológicas, de uso e cobertura do solo são solicitadas (TROLEIS; SILVA, 2018). Com o avanço do geoprocessamento essa modelagem matemática pode ser desenvolvida em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo a discriminação das paisagens auxiliando na tomada de decisão.

Diante desse cenário, órgãos ambientais vinculados à gestão pública de cada país já começaram a agir cobrando mitigação dos danos ambientais causados pelos usos antrópicos da terra, como o cercamento das áreas a serem protegidas e o reflorestamento. Logo, este artigo resulta de pesquisa apoiada pelo Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) e tem o objetivo de identificar áreas vulneráveis à perda de solo na Bacia hidrográfica do Rio Potengi, a fim de direcionar esforços para ações de recuperação de áreas degradadas e demonstrar a eficiência da metodologia de modelagem ambiental.

## 2. Fundamentação teórica

O processo de avaliação das paisagens pressupõem o conhecimento da dinâmica ambiental da região o que envolve o uso e ocupação do solo, a expansão urbana, características do solo, relevo, vegetação, geologia e clima, podendo favorecer processos erosivos e suas consequências na quantidade e qualidade da água (PAIVA et al. 2022).

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE), o Método da Erosão Potencial (EPM) e a ferramenta de avaliação de solo e água (SWAT), foram desenvolvidas para se estimar quantitativamente a perda anual de solo de uma região para cada ponto da bacia (PHAM; DEGENER; KAPPAS, 2018), embora possuam algumas limitações. Por outro lado, a metodologia de zoneamento ecológico proposto por CREPANI et al. (2001) é capaz de determinar da suscetibilidade natural à erosão a partir da análise qualitativa do clima, geomorfologia, geologia, pedologia e cobertura das terras, o que pode ser suficiente para identificar a prioridade de determinadas áreas para receber ações de controle de erosão como o reflorestamento.

Por outro lado, a quantificação da vulnerabilidade não se resume a uma tarefa simples, pois não se reduz a uma única métrica e envolve a qualidade dos dados utilizados e a percepção e preferências dos tomadores de decisão (SOUZA et al. 2019). Os mapas podem ter diferentes graus de detalhe, dependendo da intensidade dos trabalhos de campo e de sua escala. Os mapas exploratórios, como de solos elaborados pelo Projeto RADAMBRASIL (1973-1987), se basearam em interpretação de mosaicos semicontrolados de imagens de radar e trabalho de campo e são úteis para uma avaliação preliminar do potencial dos solos e também servem para o planejamento do desenvolvimento de regiões pioneiras.

Assim, estudos diagnósticos possibilitam espacializar as regiões passíveis a algum dano ambiental diante de condições que ameaçam a saúde pública e a qualidade ambiental. Quando abordam a ocorrência de processos naturais segundo classes de probabilidade estão indicando a



# IV SUSTENTARE & VII WIPIS

## WORKSHOP INTERNACIONAL

### Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO  
GRATUITO  
TOTALMENTE  
ONLINE

Realização:





Apoio:





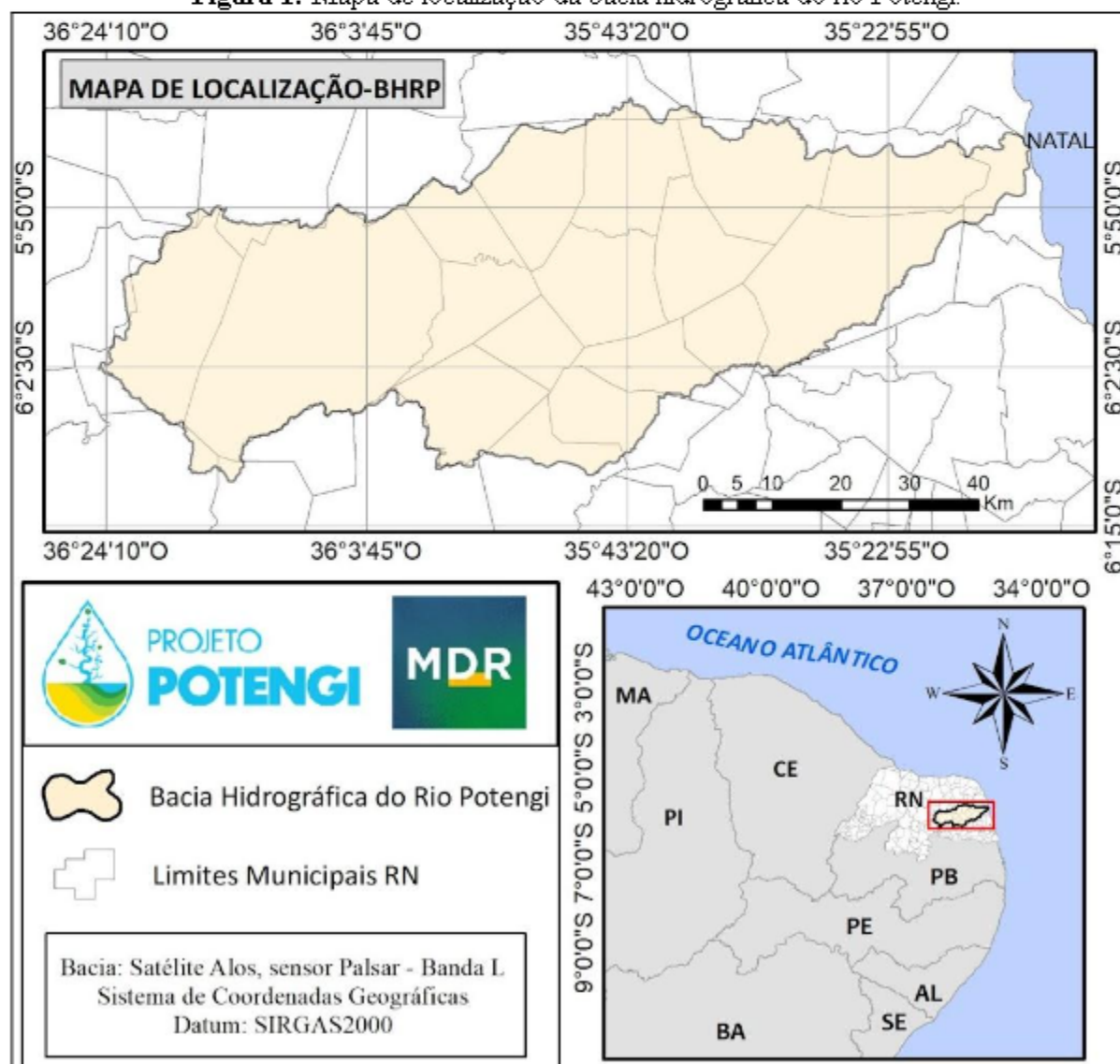
suscetibilidade natural. Enquanto que estudos que abordam a vulnerabilidade ambiental indicam a fragilidade do ambiente frente a ações antropogênicas.

Nesse sentido, a gestão e o planejamento ambiental são ferramentas básicas para o controle desse desequilíbrio. Com o intuito de amenizar o impacto destas atividades, diversas instituições têm buscado estabelecer modelos de ocupação e desenvolvimento regional.

### 3. Metodologia

A área de desenvolvimento da pesquisa foi a Bacia Hidrográfica do Rio Potengi (BHRP), que compreende 4170 km<sup>2</sup> do Rio Grande do Norte onde se desenvolvem atividades econômicas como agricultura, pecuária, carcinicultura e geração de energia eólica. Observa-se na Figura 1 que a bacia está limitada pelas Bacias dos rios Ceará-Mirim, Doce, Trairi, Pirangi e Piranhas-Açu e pelo Oceano Atlântico a leste, abrangendo 25 municípios do Estado.

**Figura 1:** Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Potengi.





A modelagem ambiental da bacia foi realizada adaptando o zoneamento ecológico proposto por Crepani et al. (2001) em ambiente SIG com auxílio do software ARCMAP 10.8. A Tabela 1 descreve os produtos cartográficos que foram utilizados.

**Tabela 1:** Banco de dados geográfico.

| Informação                       | Descrição                                                  | Fonte                                                   | Resolução Espacial/Escala |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|
| Modelo Digital de Elevação (MDE) | Declividade/ Delimitação da Bacia                          | JAXA/METI (2010)                                        | 12,5m                     |
| Climatologia                     | Estações pluviométricas (Série histórica 2001-2021).       | EMPARN(2022)                                            | 1:100.000                 |
| Geologia                         | União das seis folhas geológicas                           | Geo SGB/CPRM(2014)                                      | 1:100.000                 |
| Pedologia                        | Mapeamento RADAMBRASIL                                     | BRASIL (1981), adaptado pelo IBGE (2017)                | 1:250.000                 |
| Cobertura da Terra               | Fotointerpretação das imagens do satélite de Abril de 2022 | Satélite: PlanetScope; Sensor PS2: SD; Bandas: 1,2 e 3. | 5m                        |
| Geomorfologia                    | Morfoestruturas potiguar                                   | DINIZ et al. (2017)                                     | 1:250000                  |

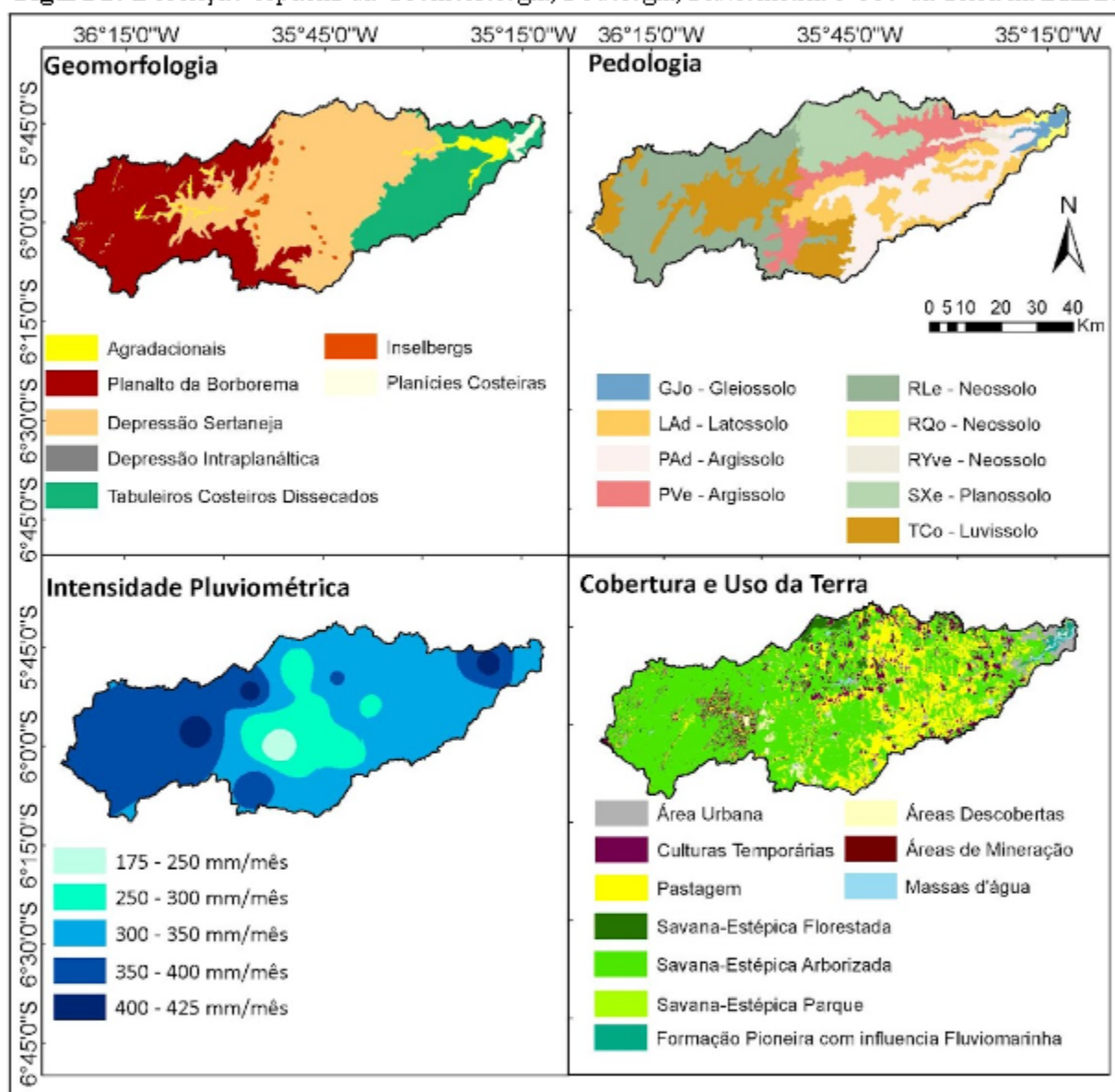
O clima da BHRP se enquadra em Tropical, com distribuição irregular das chuvas a oeste da bacia, variando entre 450 mm e 1.700 mm por ano, sendo os maiores índices pluviométricos localizados nos municípios mais próximos ao litoral do estado, porém, a oeste da bacia a média anual de precipitação é a menor concentrada em 3 meses chuvosos o que eleva a intensidade pluviométrica na região.

Na Figura 2 é apresentada a intensidade pluviométrica para uma escala temporal de 20 anos (2001 – 2021), além de todos os solos, uso e cobertura da terra e a geomorfologia que compõem a área de estudo.

As subunidades morfoesculturais do território potiguar refletem três eventos de evolução, a Orogênese Brasileira, a fragmentação do Megacontinente Gondwana e as reativações tectônicas cenozóicas (DINIZ et al., 2017). A Depressão Sertaneja corresponde às áreas aplainadas do Cinturão Brasileiro, marcados por acentuados processos de dissecação. O Planalto da Borborema consiste em conjunto de terras altas de relevo movimentado, intensamente dissecado (CORRÊA et al., 2010). A oeste da bacia observa-se a divisão entre essas duas morfoesculturas. Enquanto que as bacias litorâneas, a leste da bacia, foram recobertas por depósitos de sedimentos derivados do processo de dissecação do relevo dos terrenos cristalinos interioranos, e os Tabuleiros Costeiros evoluíram sobrejacentes aos arenitos da Formação Barreiras, Formação Açu e Formação Jandaíra com relevos aplainados. Por fim, no extremo leste da bacia encontra-se o terreno agradacional das Planícies Fluviais e Costeiras compostas por sedimentos continentais formados pela atuação direta de processos marinhos litorâneos.



**Figura 2:** Descrição espacial da Geomorfologia, Pedologia, Pluviometria e Uso da Terra na BHRP.



Observa-se 9 tipos de solo compondo a pedologia da BHRP. Sendo os Argissolos localizados no centro e no leste da bacia, com textura arenosa e argilosa com drenagem diminuindo em seu horizonte B, detém de alta fertilidade natural em decorrência da dinâmica de sua composição. Já os Gleissolo periodicamente saturados por água por estarem localizados na foz do Rio Potengi. Encontra-se também os Latossolos, argilosos, e os Luvisolos, rasos e pedregosos, a oeste da bacia, áreas com restrições hídricas. E por toda a bacia se distribuem os Neossolo e Planossolo, sob condições de clima semiárido se mantêm rasos e são compostos por argilas.

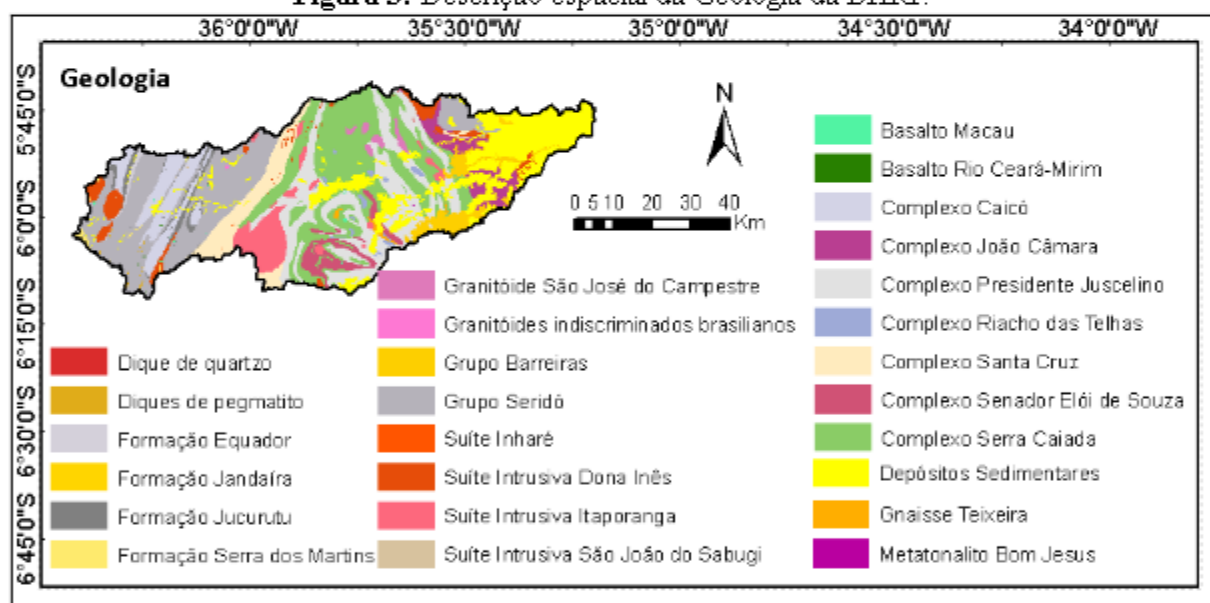
O Banco de Informações Ambientais (BdiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), delimita 4 formações vegetacionais: savana-estépica arborizada, savana-estépica



florestada, savana-estépica parque e formação pioneira com influência fluviomarinha. Além disso, por meio da fotointerpretação das imagens do satélite *Planet Scope* viabilizou-se a distinção de áreas destinadas ao cultivo, pecuária, mineração e limites urbanos, para incrementar a modelagem urbana.

Conforme a Figura 3 mostra, a oeste da bacia observam-se os complexos Presidente Juscelino Serra Caiada, Caicó, Santa Cruz e suítes intrusivas Itaporanga, Dona Inês, São João do Sabugi e Inharé, constituídos por gnaisses e migmatitos intensamente fraturados. Pode-se também contatar as formações Equador, Jucurutu e Seridó, constituídas por biotitas, anfibólios e mármores metamorizados de baixo a alto grau. Além dos Granitóides indiscriminados Brasileiros, constituídos por dioritos, o Basalto Rio Ceará-Mirim e Macau, constituídos por diabásio e basalto. E a formação Serra dos Martins e em conjunto com os Depósitos aluvionares constituídos por Arenito e sedimentos inconsolidados. A leste da bacia verifica-se a formação Jandaíra constituída por calcarenitos e o Grupo Barreiras e os depósitos aluvionares constituídos por sedimentos de quartzo.

**Figura 3:** Descrição espacial da Geologia da BHRP.



Todos os planos de informação que descrevem a bacia foram montados e integrados segundo o fluxograma da Figura 4, com o intuito de se modelar o ambiental e identificar as áreas mais vulneráveis à erosão. Ponderados de 1 à 3 obedecendo os seguintes critérios:

- **Pedologia** - Classificada quanto ao grau de maturação e estabilidade dos solos, crescente de Latossolos (1) à Neossolos (3).
- **Geologia** - Classificada quanto ao grau de coesão das rochas, crescente de Quartzito e gnaiss (1) à Areia e Argila (3).
- **Uso e cobertura da Terra**- Classificada quanto a densidade de cobertura vegetal para a suscetibilidade natural e exposição do solo a pastagem e agricultura para a vulnerabilidade ambiental, crescente de Savana estépica (1) à áreas descobertas (3).
- **Climatologia**- Classificada quanto a intensidade pluviométrica (mm/mês), crescente de 175 mm/mês (1,5) à 425mm/mês (2,6).



# IV SUSTENTARE & VII WIPIS

## WORKSHOP INTERNACIONAL

### Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO  
GRATUITO  
TOTALMENTE  
ONLINE

Realização:





Apoio:

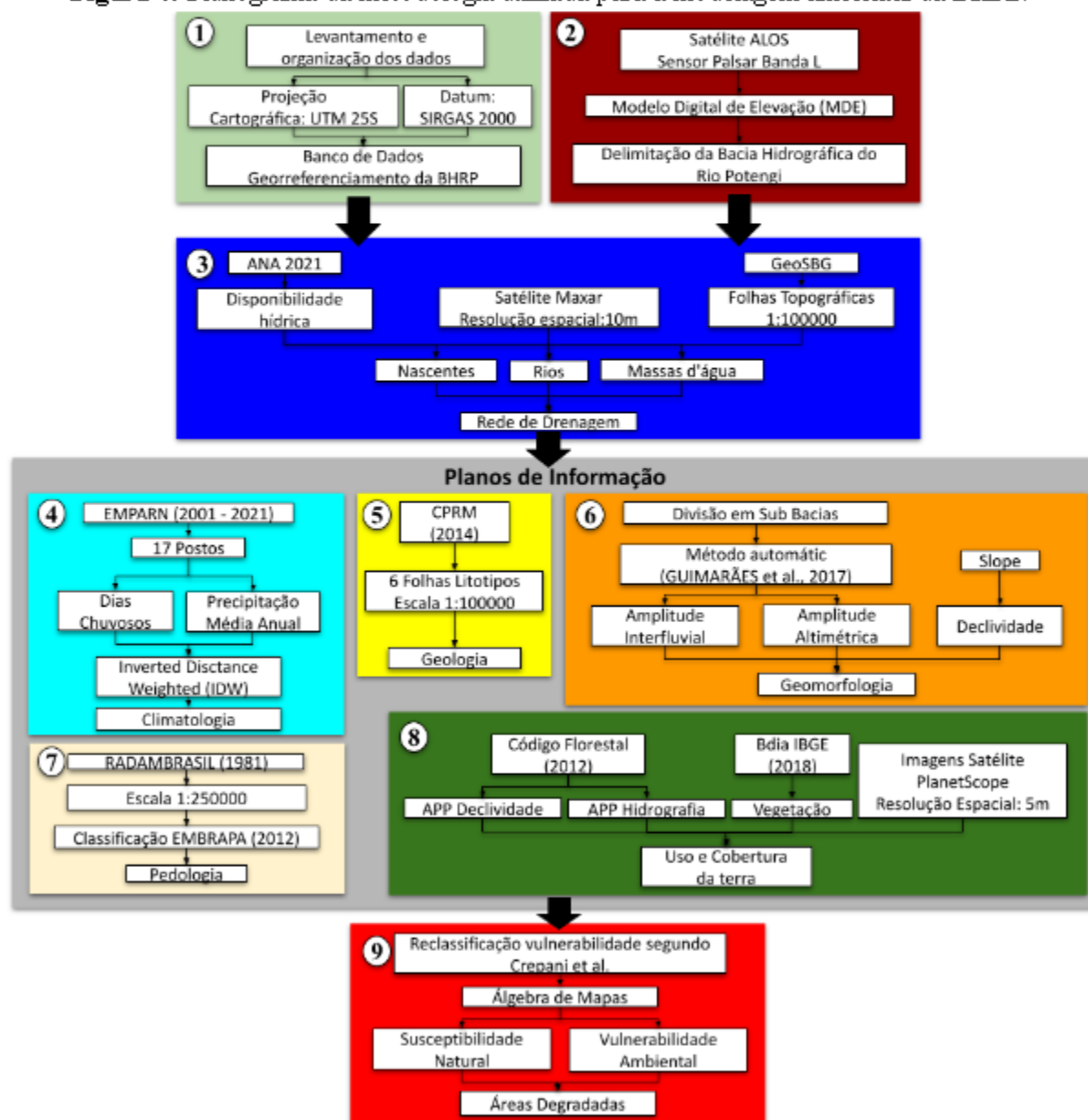


Agência das Bacias PCA



- Geomorfologia**- Classificada quanto à média aritmética do valor atribuído a declividade, amplitude altimétrica e amplitude interfluvial. Sendo a vulnerabilidade à perda de solo é proporcional à declividade e a amplitude altimétrica e inversamente proporcional à amplitude interfluvial.

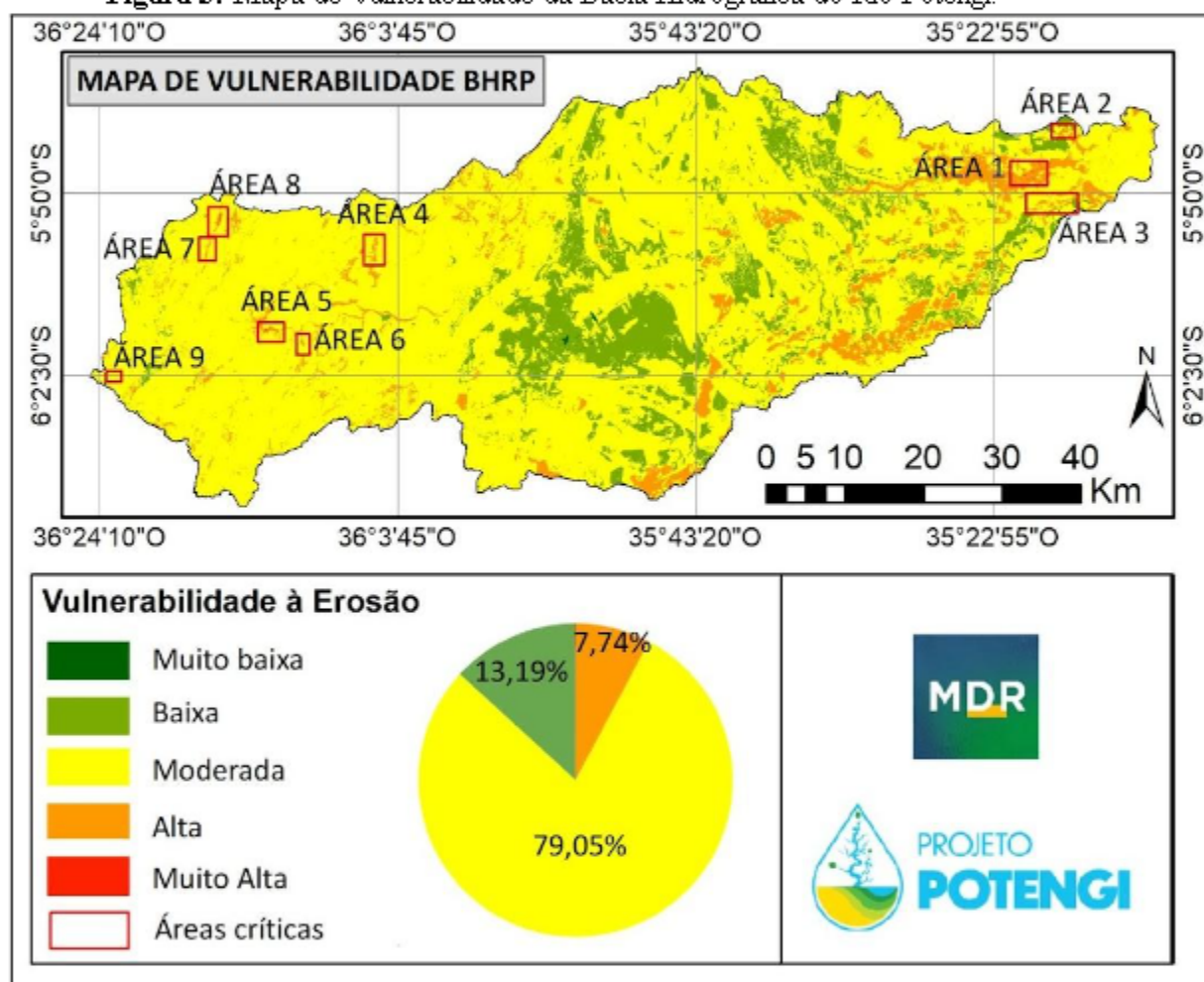
**Figura 4:** Fluxograma da metodologia utilizada para a modelagem ambiental da BHRP.



#### 4. Resultados

A análise multicritério que resultou no mapa de vulnerabilidade à erosão (perda de solo) representado na Figura 5, sendo: vulnerabilidade muito baixa (1 – 1,3), baixa (1,4 a 1,7), moderada (1,8 a 2,3), alta (2,4 a 2,6) e muito alta (2,7 a 3,0).

**Figura 5:** Mapa de Vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi.



Verificou-se que as áreas classificadas com vulnerabilidade muito baixa se encontram próximas ao Complexo Presidente Juscelino constituído por gnaisses, Latossolos Amarelos e cobertos pela savana-estépica arborizada sob baixa intensidade pluviométrica, características que colaboram com a proteção a erosão. Em geral, o processo erosivo tende a ser retardado a leste da bacia devido à baixa declividade típica de terrenos sedimentares oriundos da Formação Barreiras, mesmo que seja constituída por Neossolos que favorecem os processos erosivos.

A classe de vulnerabilidade moderada foi mais representativa, correspondendo a 3174,47 km<sup>2</sup> (79,05%) da área. Isto se deve a predominância de luvisolos e planossolos sob intensidades pluviométricas moderadas variando entre 300 mm/mês e 400 mm/mês, os quais mesmo que



# IV SUSTENTARE & VII WIPIS

## WORKSHOP INTERNACIONAL

### Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO  
GRATUITO  
TOTALMENTE  
ONLINE

Realização:



SUSTENTARE  
POLICOMPAR



WIPIS  
2022

Apoio:



Agência das Bacias PCJ



COMITÊS PCJ

possuam alta erodibilidade, estão cobertos por savana-estépica arborizada e baixas declividades (<6%).

Quanto às áreas que merecem maior atenção, as que possuem classes de vulnerabilidade alta e muito alta (2,3 a 3,0), situam-se nas porções Leste, Sudeste e Oeste da bacia, representando cerca de 311,77 km<sup>2</sup> (7,76%) da área de estudo. São locais submetidos a uma intensidade pluviométrica alta, (entre 350 mm/mês e 420 mm/mês), alto grau de antropização pela agricultura e pastagem, combinados a geologia e pedologia de depósitos sedimentares e Neossolos.

A partir das validações *in loco* realizadas nas áreas críticas 5, 7 8 e 9, representadas na Figura 6, observou-se que a pastagem, cultivo agrícola e solos expostos mostravam-se presentes, mas a geologia de rochas ígneas de outras suítes intrusivas substitua a geologia sedimentar que deveriam estar presente.

**Figura 6:** Validação das áreas críticas.





(a) área 5: centro do município de São Tomé; (b) área 7: norte do município Cerro Corá; (c) área 8: norte do município Cerro Corá; (d) área 9: nascente do Rio Potengi.

O fator de geologia em conjunto da cobertura e uso da terra foram os fatores mais definitivos que elevaram o valor da vulnerabilidade. Os dados que partiram de fotointerpretação de abril de 2022, são bem precisos, porém as cartas geológicas não representaram bem a geologia das áreas críticas que estão mapeadas como depósitos sedimentares, embora *in situ* foram detectados afloramentos rochosos intrusivos.

A metodologia se mostrou eficiente na marcação de áreas degradadas por serem mais naturalmente suscetíveis a processos erosivos e ambientalmente vulneráveis pela presença antropogênica com atividades agropecuárias. Mas, os planos de informações que são utilizados necessitam de certa atualização periódica. As informações climáticas e de cobertura e uso da terra que foram utilizadas se mostraram bem atualizadas. O processo de modificação da geomorfologia é lento, por isso não influenciou muito a falta de atualização desse plano de informação. Entretanto, as cartas geológicas e pedológicas transmitiram informações desatualizadas, necessitando de um levantamento mais preciso.

## 5. Conclusões

A maior parte da BHRP foi avaliada como vulnerabilidade moderada 3174,47 km<sup>2</sup> (79,05%), e 311,77 km<sup>2</sup> (7,76%) de áreas por ser amplamente ocupada pela agropecuária e devido ao clima tropical semiárido, o qual possui períodos de chuvas curtos que provocam altas intensidades. As nove áreas críticas necessitam de medidas mitigadoras urgentes para reduzir a perda de solo anual a que estão expostos, principalmente por se tratarem de trechos de zona ripária e nascentes da rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi.

Diante desse resultado, destaca-se a importância da integração das informações que revelaram as áreas mais vulneráveis em ambiente SIG, com as análises *in situ* que confirmaram a degradação ambiental, embora não demonstraram a geologia descrita nas cartas geológicas, necessitando de um levantamento mais detalhado para se melhorar a precisão da modelagem. Portanto, o trabalho conseguiu avaliar a eficiência da modelagem e contribuiu para direcionar ações de recuperação de áreas degradadas na BHRP para mitigar os processos erosivos revelados de maneira qualitativa.

No entanto, faz-se necessário a incorporação de outras metodologias quantitativas em ambiente SIG e *in situ* agregando o caráter das mudanças climáticas para estimar o potencial de perda de solo da bacia, aperfeiçoando a modelagem ambiental e chamando atenção dos gestores para agirem com mais urgência frente a degradação ambiental exposta nesse e em trabalhos futuros.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), MDR e a Fundação Norte-Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura (Funpec) pelo apoio e financiamento do Projeto Potengi.



## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, J. G. R.; ROMÃO, P. A.; MASCARENHA, M. M. a.; SALES, M. M. Erodibilidade de solos tropicais não saturados nos municípios de Senador Canedo e Bonfinópolis-GO. **Geociências**, nº 3, v. 34, p.441-451, 2015.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHUTT, B.; FERRO, V. and BAGARELLO, V. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications**, nº 8, v. 1, p.1-13, 2017.

CORRÊA, A.C.B; TAVARES, B.A.C; MONTEIRO, K.A; CAVALCANTI, L.C.S; LIRA, D.R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, nº 1, v. 31, p.35-52, 2010.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FABER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, nº 387, v. 6630, p.253-260, 1997.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. e BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, p. 124, 2001.

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapeamento geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, nº 4, v. 18, p.689-701, 2017.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION (FAO). Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. **Roma: FAO**, p.100, 2019.

PAIVA, A. M. L.; AMARO, V. E.; LOLLO, J. A.; COSTA, C. W. Fragilidade ambiental aplicada em área de manancial no nordeste brasileiro. **Revista de geociências do nordeste**, nº 1, v. 8, p.128-147, 2022.

PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin:Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, nº 6, v. 2, p.99-110, 2018.

RIVIECCIO, R.; SALLUSTIO, L.; PAOLANTI, M.; VIZZARRI, M.; MARCHETTI, M. Where Land Use Changes Occur: using soil features to understand the economic trends in agricultural lands. **Sustainability**, v. 9, n. 1, p. 78, 2017.



SOUZA, A. R.; DUPAS, F. A.; DRUMMOND, I. N.; COSTA, C. W. Zoneamento da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a usle na determinação de vulnerabilidade ambiental?. **Geociências**, nº 4, v. 38, p.1105 - 1119, 2019.

THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. Bioerosão – Evolução do Rebanho Bovino Brasileiro e Implicação nos Processos Geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, nº 2, v.10, p.3-11, 2009.

TROLEIS, A. L.; SILVA, B. L. Do polígono das secas à vulnerabilidade ao colapso hídrico: uma análise do território do rio grande do norte. **GeoSertões**, nº 5, v. 3, p.24-40, 2018.