

RISCO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANHAS-AÇÚ NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Madson Tavares Silva ¹

Pedro Vieira de Azevedo ²

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão ³

Kamila Souza Santos ⁴

RESUMO

A região semiárida brasileira é uma das maiores e mais populosas do mundo. Estende-se por uma área que abrange um total de 974.752 km². As bacias hidrográficas do nordeste, especialmente as localizadas na porção semiárida, foram degradadas ao longo das décadas devido à extensa atividade humana, como a remoção da vegetação nativa e o uso irracional da terra na agricultura e pecuária. A erosão desses solos está relacionada à própria natureza, como a quantidade e a distribuição das chuvas, declives, comprimento e forma das encostas, o tipo de vegetação e também a ação do homem, como o uso e manejo da terra que, na maioria dos casos tendem a acelerar a erosão. O uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) integrado auxilia no gerenciamento e manipulação de dados e, através dele, observamos o potencial de erosão dos solos, uso e ocupação das terras, padrões climáticos e do relevo na BHRPA, no qual grande parte da área de estudo apresenta um risco médio e moderado associado a fragmentos de vulnerabilidades do solo. Além de certo grau de estabilidade associado a áreas com menos de 3% que compõem o campo paisagístico das encostas da bacia. Por fim, observou-se que se deve ter um melhor planejamento do uso da terra nas próximas concentrações das regiões de reservatórios de água, devido aos riscos de degradação encontrados.

Palavras-chave: Semiárido, gestão, geoprocessamento, vetor, raster.

INTRODUÇÃO

Mudanças ambientais têm ocorrido de maneira crescente e em diversos graus de intensidade sobre a qualidade de vida da população em escala planetária. Possíveis evidências vislumbram que esses desequilíbrios ambientais, possam ser cumulativos, irreversíveis e irreparáveis (OPAS, 2011).

As situações catastróficas representam uma questão complexa em uma sociedade capitalista, na qual o risco é uma característica (Barrenechea et al., 2003). De acordo com

¹ Prof. Dr. do Curso de Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, madson.tavares@ufcg.edu.br;

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN/IFRN), pvdeazevedo@gmail.com;

³ Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, oliveiraserrao@gmail.com;

⁴ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, kamilasouza182@gmail.com;

Beck (1996) a sociedade de risco é uma consequência de processos de inovação onde a produção de risco evita o controle e proteger as instituições da sociedade civil.

Segundo Silva (2017), a análise de vulnerabilidades torna-se uma plataforma para entender a utilização de informações obtidas de diversas fontes institucionais e suas aplicações ao risco de gestão. Ao mesmo tempo, promove o trabalho institucional multidisciplinar para agentes de gestão. De modo geral, a vulnerabilidade de um sistema está associada diretamente a sua capacidade de resistência a ações externas, tendo como conceitos determinantes a compreensão da condição de um sistema ou a sua predisposição para ser danificado por perigos. Ainda assim, vários autores (Adger, 2006; De Lange, 2010; Sonwa et al., 2012) relatam que a vulnerabilidade é uma função da exposição a um estressor, o que remete a uma capacidade de resposta a um determinado evento externo.

De acordo com (Brooks et al., 2005), a vulnerabilidade torna-se um contínuo estado latente diante da eminência de um confronto a ser enfrentado. Além disso, a vulnerabilidade é específica do contexto e varia muito entre as percepções e dimensões a serem consideradas (Jabareen, 2013). Desta forma sua conceituação não está associada a um conceito direto, tão pouco existe consenso em relação ao seu significado preciso (Khan, 2012). Assim, a conceituação e avaliação da vulnerabilidade torna-se um passo crítico na mitigação de desastres e adaptação às mudanças ambientais (Tate et al., 2011; Khan, 2012). Menoni et al. (2012) relatam que grande parte das contribuições para tal definição surge de conceitos multidisciplinares com definições que tornam-se concorrentes. No entanto, a avaliação da vulnerabilidade envolve diversos desafios práticos, inclusive disposição, complexidade do problema, má compreensão das questões e a importância dos resultados (Patt et al., 2009).

Avaliações da vulnerabilidade de populações são mecanismos pelos quais as organizações podem mensurar os impactos atuais e projetar sobre cenários futuros. Especificamente, as avaliações das mudanças ambientais e suas vulnerabilidades à indicadores que caracterizam o desenvolvimento social e econômico, apoiando assim a compreensão e identificação dos impactos sobre a população (Luers, 2003). Tais avaliações podem melhorar a capacidade adaptativa através da identificação e da informação sobre decisões e medidas mitigadoras e adaptativas para populações mais vulneráveis (Kleinosky, 2007).

Nessa perspectiva, os estudos de vulnerabilidade apresentam-se como ferramentas na avaliação de risco, como um processo pelo qual um grupo humano toma conhecimento do risco potencial, considera as opções e recursos disponíveis para enfrentá-lo e alcançando soluções apropriadas (Blaikie et al. 1996; Silva et al., 2018). Neste contexto, muitos

pesquisadores têm analisado a vulnerabilidade como uma dimensão de risco e primeira abordagem para uma análise abrangente (Suárez e Escobar, 2009; Maldonado e Cóccharo, 2011; Fernández et al., 2013; Pérez, 2014; Serrão 2019a; Serrão 2019b).

Delimitar as dimensões de risco permite descrever e identificar a extensão da exposição, conduzindo a inventários de pontos de risco, analisando a vulnerabilidade e simulando cenários de risco, entre outros (Muñoz e Castillo, 2002; Isidro et al., 2009). Existe extenso material sobre a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ao estudo da vulnerabilidade (Silva et al., 2012; Correa e Granda, 2013; Silva et al., 2016; Silva et al., 2017; Silva et al., 2018;).

Face ao exposto, o presente estudo objetivou a identificação das principais dimensões que agem sobre a dinâmica da vulnerabilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açú (BHRPA) no estado do Rio Grande do Norte, com base em ferramentas de geotecnologias aplicadas à análise de risco.

METODOLOGIA

Área de estudo

O presente trabalho foi realizado apenas nos domínios do estado do Rio Grande do Norte (RN) que detêm cerca de (40%) da área total da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas – Açú (BHRPA) - Figura 1. A BHRPA é a maior unidade da região hidrográfica do atlântico nordeste oriental, correspondendo a 15% de sua área total, o que equivale a uma área de drenagem de 43.681,50 km² (MMA, 2006).

A BHRPA tem sua nascente na Serra de Piancó no estado da Paraíba e desemboca próximo à cidade de Macau (RN). Essa bacia hidrográfica é composta por rios intermitentes em condições naturais e é perenizada por dois reservatórios de regularização: Coremas - Mãe d'Água, na Paraíba, e a barragem Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte. A BHRPA está totalmente inserida no território semiárido, com precipitações pluviiais médias variando entre 400 e 800 mm anuais, concentradas entre os meses de fevereiro e maio (PRH, 2013).

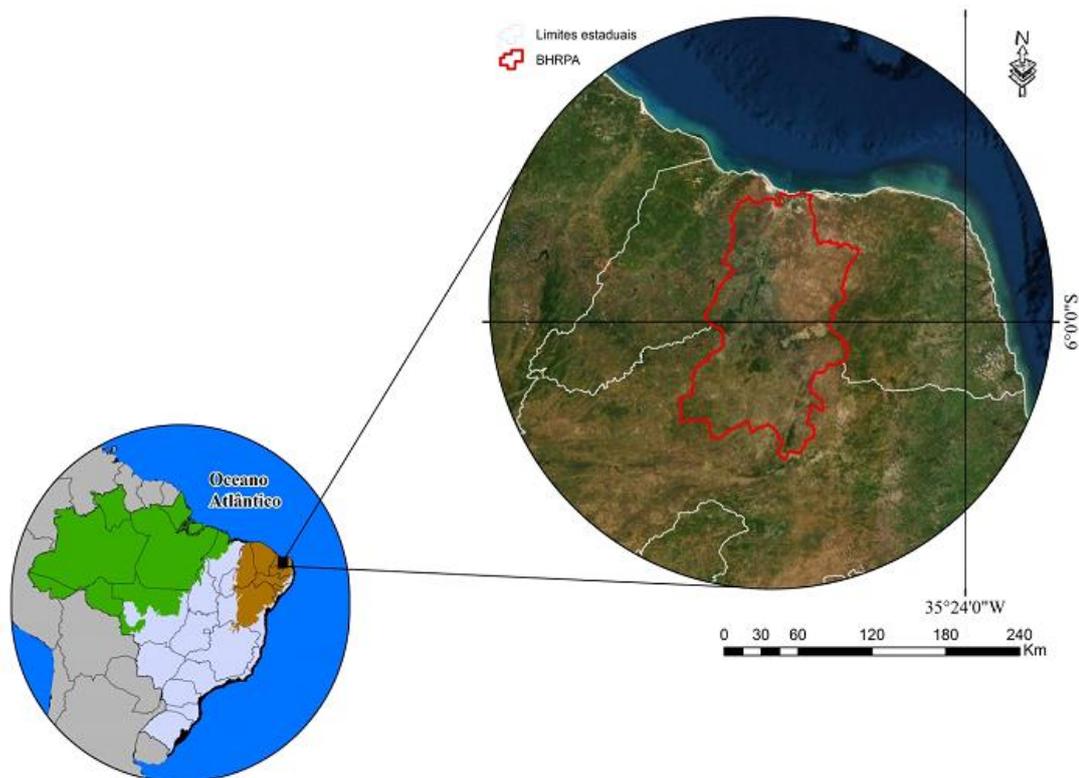


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu (BHRPA).

Base de dados

Clima

Em função da disponibilidade de dados para cada localidade (município), foram utilizados valores médios mensais de precipitação pluvial para estações pluviométricas inseridas na área de estudo monitoradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando as normais climatológicas (1960-1990).

Relevo

O mapeamento da estrutura de relevo foi realizado através de um mapa com a inclinação da área de estudo (declividade). A escolha dos intervalos das classes de inclinação foi de acordo com a EMBRAPA (1979). A base para o mapeamento foi uma imagem da missão da topografia do radar (SRTM) disponibilizada no Brasil pela EMBRAPA e organizado por Miranda (2005). A imagem tem 90m de resolução espacial e corresponde às cartas SB-24-XB, SB-24-XD e SB-24-ZB. Para cada classe de declive, uma pontuação correspondente à suscetibilidade foi atribuída. As pontuações para as diferentes classes de assistência foram

baseadas em Ribeiro (2010) e Boithias et al. (2012), quanto mais íngreme o terreno, maior a pontuação (Tabela 1), devido à maior probabilidade de movimentação de terra.

Solos

As informações que subsidiaram esta avaliação foram basicamente obtidas do mapa de solos na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2004). Esse mapa temático, fruto da parceria entre a EMBRAPA e o IBGE, permitiu uma visualização espacial dos principais tipos de solos segundo as especificações e nomenclatura indicadas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 1999).

Cobertura do solo

O mapa de Uso e Cobertura do Solo foi definido com base no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2018). A resolução da carta é de 1:250.000, o qual contempla os principais uso e coberturas da área de estudo.

Vulnerabilidade ambiental

Para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental à degradação na área de estudo, foram utilizados quatro atributos, todos de origem natural (Tabela 1). A atribuição de escores de vulnerabilidade a classes de degradação de terra, uso e cobertura do solo levou em consideração a contribuição individual cada atributo ao processo (Tabela 1). Para isso, os estudos de Crepani et al. (2001) e Silva et al., 2012 foram utilizados, e apontaram que diferentes tipos de uso podem contribuir para processos de degradação de forma mais acelerada, com ênfase em manejos agressivos da agricultura em regiões semiáridas.

A metodologia para elaboração de mapas que subsidiem a análise de vulnerabilidade natural à erosão desenvolvida por Crepani et al. (2001) tem como objetivo apoiar o Zoneamento Ecológico-Econômico apoiado no conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977), que define uma relação entre os processos de morfogênese e pedogênese onde ao predominar a morfogênese prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e ao predominar a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.

A estabilidade ou vulnerabilidade, a resistência ao processo natural de erosão das unidades de paisagem natural é definida pela análise integrada do conjunto: rocha, solo, relevo, vegetação e clima. Seguindo esta proposta, cada um destes temas recebe uma pontuação de vulnerabilidade variando entre 1 e 3. Desta forma as unidades mais estáveis

apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 2,0 e as unidades de paisagem mais vulneráveis estarão próximas de 3,0.

Tabela 1. Escala de vulnerabilidade para cada classe de atributos utilizados no mapeamento da suscetibilidade à degradação ambiental.

Tipos de solo	Declividade (°)	Uso de Solo	Precipitação (mm)	Valor	Vulnerabilidade
Latossolo Vermelho-Amarelo	< 6	Urbano	592 - 500	1,0	Baixo Risco
Latossolo Amarelo		Mata			
-	6 – 12	Água superficial	499 - 463	1,5	Risco Moderado
		Caatinga Arbórea			
Argilossolo Vermelho-Amarelo	12 – 20	Pastagem	462 - 424	2,0	Médio Risco
Argilossolo Vermelho					
Luvissolo Crômico					
Planossolo Nátrico		Caatinga Herbácea			
Planossolo Háptico	20 – 45	Agricultura Perene	423 - 375	2,5	Alto Risco
Cambissolo Háptico					
Neossolo Regolítico					
Neossolo Litólico	> 45	Agricultura Anual	374 - 297	3,0	Vulnerável
Neossolo Quartzarênico					
Neossolo Flúvico					
Vertissolo Cromado					

Como resultado final é apresentado à vulnerabilidade de cada unidade ambiental em função do somatório dos escores das informações provenientes de cada tema avaliado: relevo, cobertura do solo, tipos de solos e clima de acordo com a (Eq. 1):

$$IVA = \frac{(CS+DEC+S+PCP)}{4} \quad (1)$$

Em que: IVA representa o índice de vulnerabilidade ambiental das terras à degradação; CS o uso e ocupação de terras; DEC a declividade do terreno; S os tipos de solos na área de estudo e PCP a precipitação pluvial no período chuvoso.

Dessa forma, conforme os temas selecionados quatro grandes categorias hierárquicas foram adotadas para a produção final da carta: Baixo Risco, Risco Moderado, Médio Risco, Alto Risco e Vulnerável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vulnerabilidade associada a declividade na BHRPA (Figura 2) resulta do grau de inclinação da rampa, que é diretamente responsável pela produção do escoamento superficial e sedimentos. As áreas com declives inferiores a 3% formam o domínio da paisagem da bacia, representando certo grau de estabilidade segundo Ross (1994). Entretanto, declives acentuados também são verificados, principalmente na parte central da bacia e próximo aos divisores topográficos do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (Barragem do Açú). Tais regiões são caracterizadas por declives superiores a 20%, ou seja, apresentam alto risco de degradação ambiental.

De acordo com Ribeiro (2010), o relevo apresenta real potencial contribuinte no processo de degradação dos solos. Os sedimentos são transportados por gravidade para as áreas mais baixas e planas da bacia hidrográfica.

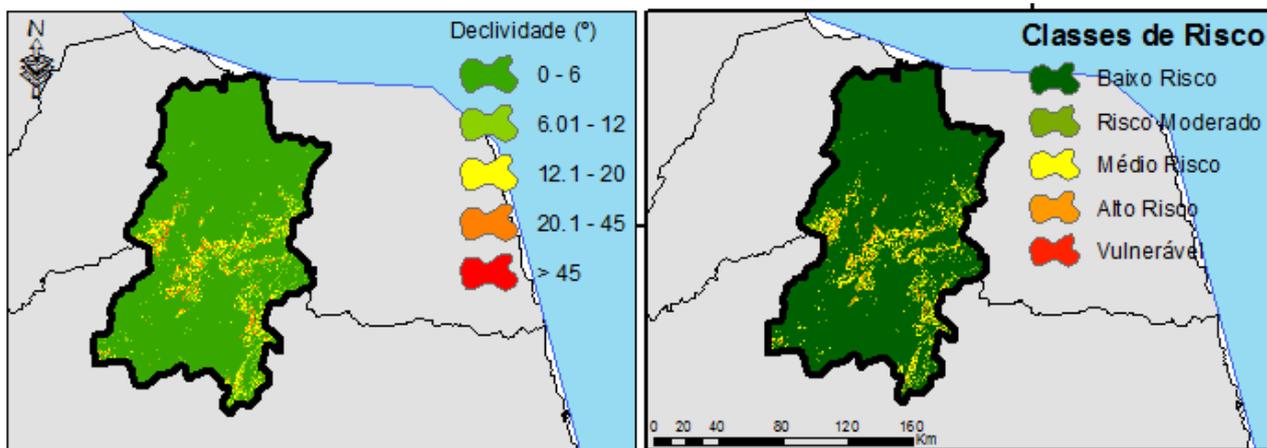


Figura 2. Distribuição espacial da vulnerabilidade da declividade na bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açú (BHRPA).

Boithias et al. (2012) descreveu a situação anteriormente mencionada no nordeste da Tailândia, onde áreas com baixas altitudes apresentam maior teor de sal nos solos em comparação com as áreas mais altas, representados pelo relevo suave ondulado. Neste contexto, o relevo liso a ondulado coopera para acumular água nos solos e sedimentos

circundantes e, portanto, recebidos notas mais altas. As outras classes de declividade que apresentam perda de sedimentos ou água receberam os graus mais baixos.

Acumulados de precipitação pluvial inferiores a 300 mm no período chuvoso em regiões semiáridas são constantes e geram preocupações sobre a diminuição da água na superfície do solo (Figura 3). Verifica-se também que a porção leste da BHRPA apresenta a maior parte de áreas com potencial risco à escassez hídrica. De acordo com (Ribeiro, 2010; Silva et al., 2018), baixas taxas pluviométricas, associada a grande demanda evapotranspiratória tornam-se fatores contribuintes para o processo de degradação de terras áridas.

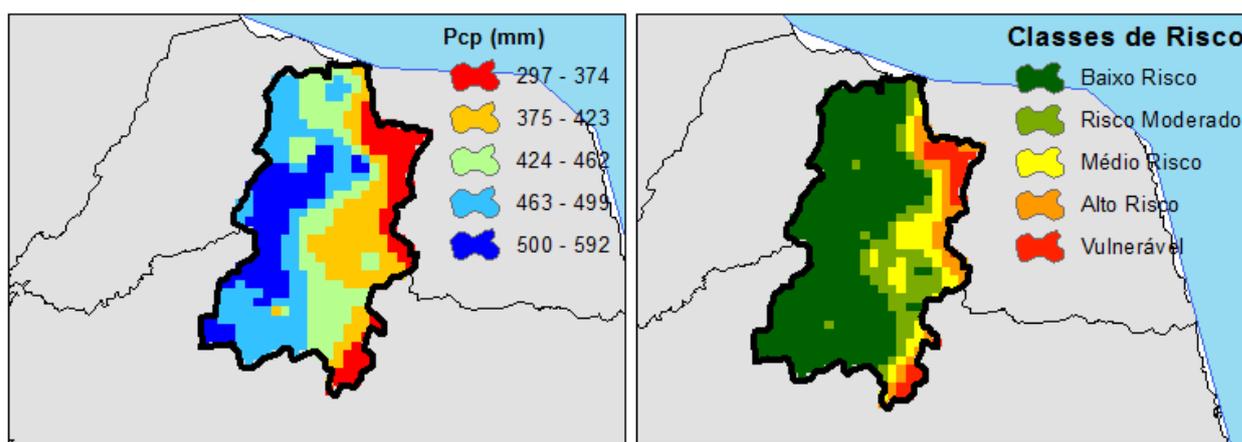


Figura 3. Distribuição espacial do risco de escassez hídrica para a bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açú (BHRPA).

A BHRPA apresenta predomínio de três classes de solos (Fig. 5), sendo aproximadamente 6.000 km² ou 35% do total da área da bacia pertencentes à classe de *Luvissolo Crômico*, a classe de *Neossolo Litólico* representa pouco mais de 6.000 km², a última classe de solo é a do *Planossolo Nátrico* apresentando 9,5% da área total. A partir da Figura 4 é possível verificar o potencial erosivo dos solos da BHRPA, em que grande parte da área em estudo apresenta-se vulnerável associado às manchas de solos do tipo *Neossolo Litólico*. As áreas de baixo risco são referentes às manchas de solo do tipo *Latossolo Vermelho-Amarelo* localizado na parte Noroeste da bacia. Por fim localizam-se com maior predominância as áreas com médio risco nas porções Sul, Leste e Oeste, em detrimento da presença dos solos *Planossolo Nátrico* e *Luvissolo Crômico*.

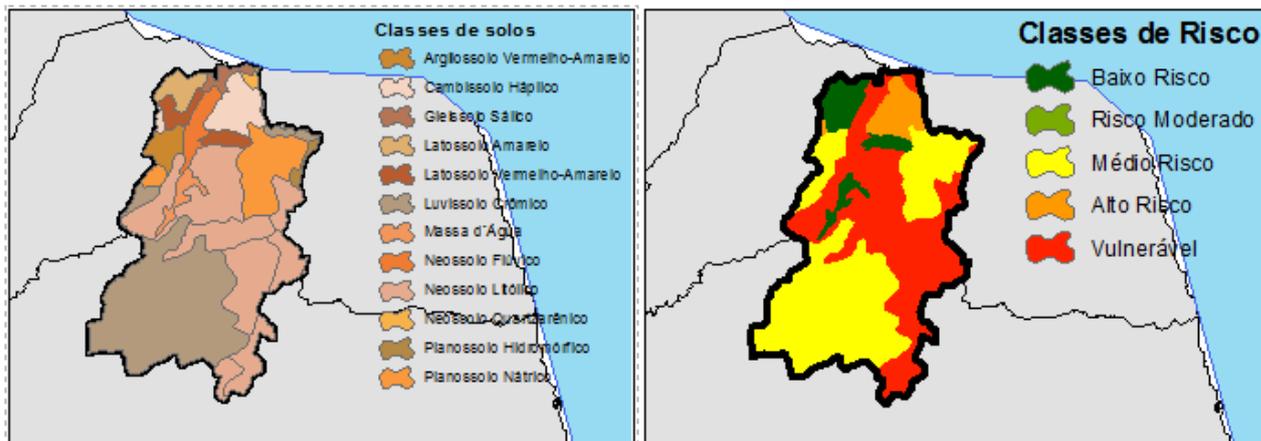


Figura 4. Distribuição espacial do risco de degradação dos solos para Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açú (BHRPA).

Para o atributo uso do solo (Fig. 5), oito classes diferentes de uso foram mapeadas: Urbano, Mata, Água superficial, Caatinga Arbórea, Pastagem, Caatinga Herbácea, Agricultura Perene, Várzea e Agricultura Anual. De acordo com a distribuição das classes de uso de solo identificadas na área em estudo observa-se que a Pastagem e a Caatinga Arbórea com áreas agrícolas dominam a paisagem ocupando uma área, de 9.540 e 5.650 km², respectivamente, totalizando cerca de 15.190 km², área correspondente a 87,14% da área total da bacia.

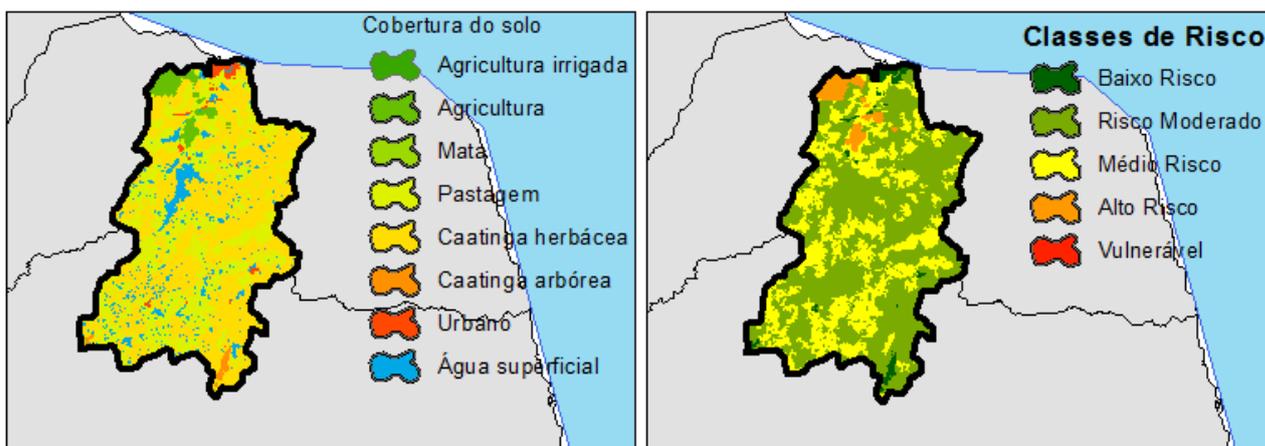


Figura 5. Distribuição espacial do risco de degradação da cobertura dos solos para Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açú (BHRPA).

As áreas de Caatinga Arbórea, Herbácea e Mata tiveram as menores contribuições para a degradação do solo porque eles apresentaram mínima ou nenhuma interferência de ações humanas. As áreas de Agricultura Perene e Anual somadas as de Pastagem são manchas não cobertas pela vegetação nativa resultante da remoção de vegetação nativa para fins agrícolas práticas e posteriormente abandonadas devido à presença de sais solúveis no solo.

Neste contexto, as áreas nesta classe de uso foram classificadas como tendo uma alta contribuição para o processo de degradação (Tab. 1), uma vez que já apresentam problemas de salinização e podem ser agravadas se as práticas agrícolas forem retomadas.

A partir da Fig. 6 é possível verificar a suscetibilidade ambiental à degradação de terras na área de estudo composta de cinco classes: Baixo Risco, Risco Moderado, Médio Risco, Alto Risco e Vulnerável. A Figura 6 apresenta a área quantitativa ocupada por cada classe de suscetibilidade. As áreas com Médio Risco à degradação ocupam 16,7% da área de estudo; eles estão concentrados em duas manchas, a maior na porção leste e outra menor no sudeste da bacia. As concentrações de Médio Risco têm configurações associadas: valores de precipitação pluvial inferiores aos 375 mm, padrões de cobertura com predomínio de Pastagem e Caatinga Herbácea e domínio de solos do tipo Neossolo Litólico e Planossolo Nátrico.

Nas áreas próximas ao Rio Piranhas-Açú, há um predomínio de áreas de Baixo Risco e de Risco Moderado. No tocante às áreas da BHRPA tais classificações representam mais de 80% da vulnerabilidade à degradação. A segunda maior classe de gravidade na classificação de suscetibilidade é a de Baixo Risco, que abrange pouco mais de 35% da área total da BHRPA. As maiores concentrações são divididas em duas áreas, a primeira a sul-sudoeste da bacia com presença de Pastagem e Caatinga Herbácea, Luvissole Crômico e precipitações próximas aos 500 mm. A outra área mais ao norte caracteriza-se pelo baixo risco associado a mancha de Latossolo Amarelo e inserção de áreas com Alto Risco associadas a Agricultura Irrigada no polo do Alto do Rodrigues, as precipitações possuem intervalos de 400-500 mm no período chuvoso.

Ao analisar as combinações das áreas classificadas como Risco Moderado à degradação, apresentam classificação de Risco Moderado e possivelmente pela presença do Planalto da Borborema, e ainda padrões de Vulnerável pela mancha de Neossolo Litólico em grande parte das áreas, a estratificação da oferta hídrica caracteriza-se por intervalos de precipitação entre 300-500 mm. Uso e ocupação do solo têm dois elementos predominantes (Pastagem e Caatinga Herbácea) e um terceiro elemento que difere (Caatinga Arbórea).

Observa-se que a definição da suscetibilidade à degradação difere entre as classes das camadas utilizadas como indicadores, possivelmente pela influência e predomínio em extensão de elementos com baixo risco e alto risco. E assim após o mapeamento e análise dos resultados, é evidente que as áreas destinadas às práticas de agricultura irrigada nas regiões secas do mundo precisam de planejamento adequado para cada realidade, isso porque as características naturais presentes nesses ambientes são favoráveis o acúmulo de sais e ações antropogênicas inadequadas condenam essas áreas à processos intensificados de degradação.

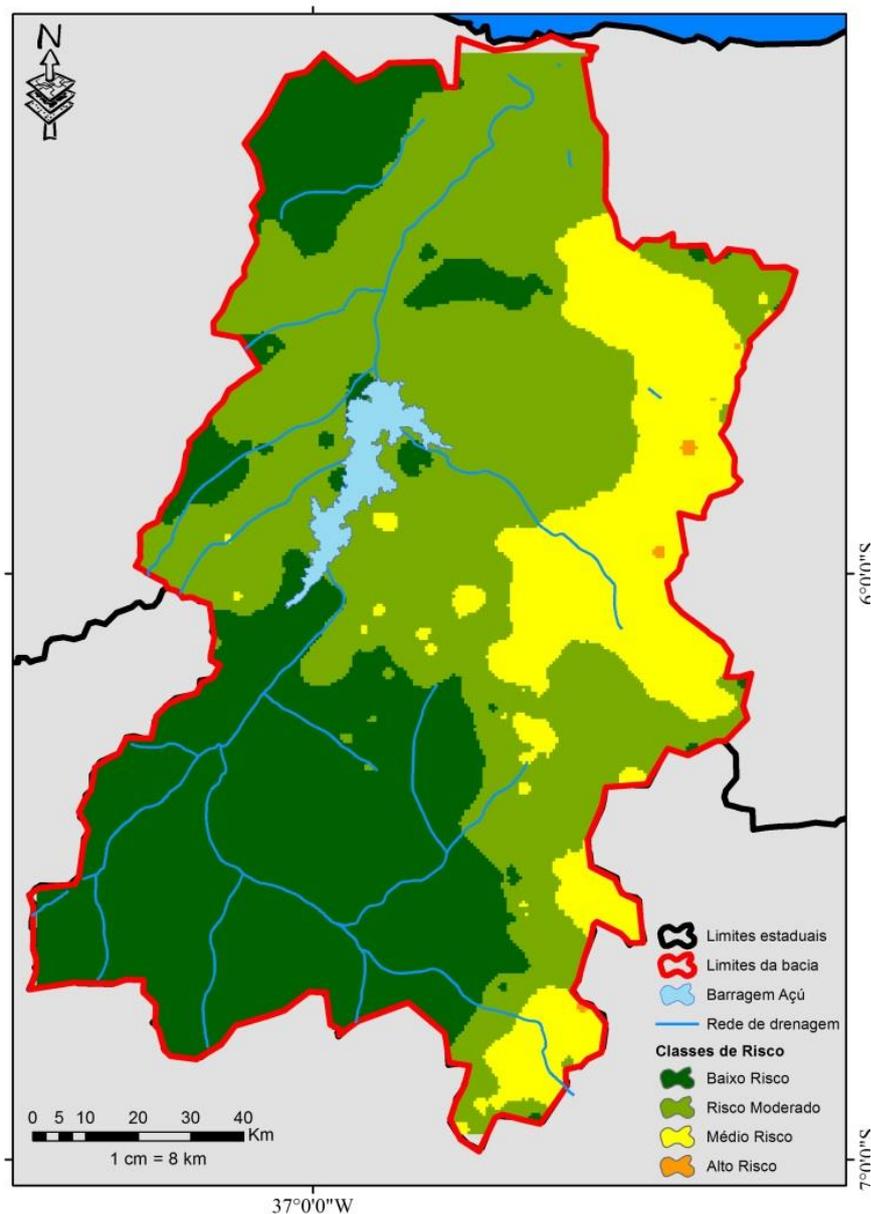


Figura 6. Distribuição espacial do risco de degradação da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açú (BHRPA).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, observou-se que a vulnerabilidade está relacionada tanto com a distribuição dos acumulados de precipitação como também com os tipos de solo na área de estudo; e a partir dos resultados gerados sob a forma de mapas verificou-se que os mesmos apresentam-se como ferramentas de grande importância para orientação inicial, objetivando o melhor manejo do solo; a fim de se conseguir produtividade nas atividades antrópicas, atrelada a geração do menor impacto possível.

Analisando-se as características do solo associadas a um potencial degradador maior em conjunto com as características de declividade do terreno, que quanto maiores mais susceptível a erosão a localidade será; pode-se concluir que há predominância de risco moderado e uma maior estabilidade porção sul da BHRPA.

Por fim, como a maior predominância das áreas com médio risco está nas porções norte, e leste, devido principalmente à presença dos solos Vertissolo Cromado, Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico e menores acumulados de precipitação verifica-se para essa área certo grau de vulnerabilidade. Sendo assim necessária a manutenção das características naturais e adequação as normas vigentes para manutenção do equilíbrio entre meio ambiente e saúde humana e para tomada de decisões sobre execução de obras, além de auxílio no planejamento de medidas mitigadoras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro a esta pesquisa (Processo N°. 409499/2018-8) e pela concessão da bolsa de Professor Visitante no PPgUSRN/IFRN ao segundo autor.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W.N. Vulnerability. *Glob Environ Chang.*, v.16, n.3, p.268–81, 2006.
- BECK, U. Teoría de la sociedad del riesgo. In: A. Giddens, Z. Bauman, N. Luhmann, and U. Beck (Coord.), *Las consecuencias perversas de la modernidad: modernidad, contingencia y riesgo* (201-222). Barcelona: Anthropos. 1996.
- BLAIKIE, P.M., CANON, T., DAVID, I., WISNER B. Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. Colombia: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres em América Latina, Tercer Mundo Editores, 1996.

- BOITHIAS, L.; DO, F. C.; ISARANGKOOL NA AYUTTHAYA, S.; JUNJITTAKARN, J.; SILTECHO, S.; HAMMECKER, C. TRANSPIRATION, GROWTH AND LATEX PRODUCTION OF A HEVEA BRASILIENSIS STAND FACING DROUGHT IN NORTHEAST THAILAND: THE USE OF THE WANULCAS MODEL AS AN EXPLORATORY TOOL. *Experimental agriculture*, v.48, p.49-63, 2012.
- BROOKS, N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, v.15, p.151–163, 2005.
- CORREA, M., GRANDA, J. Aplicación y sistematización de la propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidades de la Parroquia Urbana Patate, Cantón Patate, mediante el Uso de herramientas SIG (Tesis de Ingeniería). Escuela Politécnica del Ejercito. Sangolquí, Ecuador, 2013.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; AZEVEDO, L. G. DE.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001. 25p
- DE LANGE, H.J.; SALA, S.; VIGHI, M.; FABER, J.H. Ecological vulnerability in risk assessment – a review and perspectives. *Sci Total Environ.*, v.408, p.3871–3879, 2010.
- FERNÁNDEZ, M.; BORGES, J.; MELÉNDEZ, G.; MORA, F.; MORA, J.; MUÑOZ, C. Análisis de gestión de riesgo de inundación en la Ciudad de Santo Domingo de Heredia. In: M.A. Badilla, and F. Castillo Fallas (Eds.), *Costa Rica en el Tercer Milenio: Desafíos y Propuestas para la Reducción de Vulnerabilidad ante los Desastres* (pp. 266-286). San José: Contrastes Vivos de Costa Rica, 2013.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2004). Mapa de solos do Brasil.
- Isidro, M. L., Díez-Herrero, A., and Huerta, L. L. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: avances recientes. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (29), 29-37.
- JABAREEN, Y. Planning the resilient city: concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. *Cities*, v.31, p.220–229, 2013.
- KASPERSON, R.E.; DOW, K.; ARCHER, E.; CACERES, D.; DOWNING, T.; ELMQVIST, T.; ERIKSEN, S.; FOLKE, C.; HAN, G.; IYENGAR, K. in *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*, eds Hassan R, Scholes R, AshN(Island Press, Washington, DC), v.1, p.143–164, 2005.
- KHAN, S. Vulnerability assessments and their planning implications: a case study of the Hutt Valley, New Zealand. *Nat Hazards*, v.64, p1587–1607, 2012.
- KLEINOSKY, L.R.; YARNAL, B.; FISHER, A. *Nat Hazards*, v.40, p.43–70, 2007.
- LUERS A.L.; LOBELL D.B.; SKLAR, L.S.; ADDAMS, C.L.; MATSON, P.A. *Global Environ Change*, v.13, p.255–267, 2003.
- MALDONADO, G. I.; CÓCCARO, J. M. Esquema teórico para el estudio de la vulnerabilidad socio-territorial a inundaciones en ámbitos rurales. *Revista Geográfica Venezolana*, v.52, n.2, p.81-100, 2011.

- MENONI, S.; MOLINARI, D.; PARKER, D.; BALIO, F.; TAPSELL, S. Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk –mitigation strategies. *Nat Hazards*, v.64, p.2057–2082, 2012.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Proposta de instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, conforme resolução nº 05, de 10 de abril de 2000, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos**. Agência Nacional de Águas Governo do Estado da Paraíba Governo do Estado do Rio Grande do Norte. 2005.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 18 Jun. 2019.
- MUÑOZ, M. D.; CASTILLO, C. D. El análisis de la vulnerabilidad en la cartografía de riesgos tecnológicos. Algunas cuestiones conceptuales y metodológicas. *Serie Geográfica*, v.10, p.27-41, 2002.
- PATT, A.G.; SCHROTER D, VEGA-LEINERT ACDL, KLEIN RJT. VULNERABILITY RESEARCH AND ASSESSMENT TO SUPPORT ADAPTATION AND MITIGATION: COMMON THEMES FROM THE DIVERSITY OF APPROACHES. IN: PATT AG, SCHROTER D, KLEIN RJT, VEGA-LEINERT ACDL, editors. *Assessing Vulnerability to Global Environmental Change: Making Research Useful for Adaptation*. Earthscan; London: Decision Making and Policy; 2009.
- PÉREZ, G. G. Teoría social del riesgo y cartografía aplicada a la ciudad de Neuquén. *Boletín Geográfico*, v.32, p.115-124, 2014.
- PRH. Plano de recursos hídricos da bacia do rio Piranhas-Açu. Relatório Parcial. IBI, 2013. 989 p.
- RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. **Vulnerabilidade à erosão do solo na região do Alto Rio Pardo, Pardinho - SP**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.6, p.628-636, 2007.
- RIBERA MASGRAU, L. Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Documents d' Analisi Geografica*, v.43, p.153-171, 2004.
- ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia, FFLCH/ USP, São Paulo, n.6, p. 63-74, 1994.
- SERRÃO, E. A. O.; SILVA, M. T. ; SOUSA, F. A. S.; ATAIDE, L. C. P.; SANTOS, C. A. ; SILVA, V. DE P. R.; SILVA, B. K. N. Influência do uso e cobertura da terra na variabilidade espacial e temporal da evapotranspiração no sudeste da Amazônia, utilizando o modelo SWAT. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 10, p. 134-148, 2019a.
- SERRÃO, E. A. O.; SILVA, M. T. ; SOUSA, F. A. S.; LIMA, A. M. M.; SANTOS, C. A.; ATAIDE, L. C. P.; SILVA, V. P. R. FOUR DECADES OF HYDROLOGICAL PROCESS SIMULATION OF THE ITACAIÚNAS RIVER WATERSHED, SOUTHEAST AMAZON. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 25, p. 1-18, 2019b.

- SILVA, M. T.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. DE P. R.; SILVA, B. K. N.; BATISTA, MARIANO, E. B.; AMORIM, M. R. B. Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio rio São Francisco. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.2, p.203, 2017.
- SILVA, M.; SILVA, V.; SOUSA, E.; OLIVEIRA, S. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE (Risk Analysis of Degradation in Basin River Pontal – PE). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.3, p.646-660, 2012.
- SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SOUZA, E.P. INFLUENCE OF LAND USE CHANGE ON SEDIMENT YIELD: A CASE STUDY OF THE SUB-MIDDLE OF THE SÃO Francisco River Basin. *Engenharia Agrícola (Online)*, v.36, p.1005-1015, 2016.
- SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SINGH, V. P.; DE SOUZA, E. P.; BRAGA, C. C.; HOLANDA, R. M.; ALMEIDA, R. S. R.; SALVIANO, F. A. S.; BRAGA, A. C. R.; Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. *CATENA*, v.162, p.166-176, 2018.
- SONWA, D. J.; SOMORIN, O. A.; JUMC, B.; NKEM, J. N. L. Vulnerability, forest-related sectors and climate change adaptation: the case of Cameroon. *For Policy Econ.*, v.23, p.1–9. 2012.
- SUÁREZ, A. CUEVAS.; ESCOBAR, F. J. M. Caracterización espacial de la vulnerabilidad sociodemográfica en dos distritos madrileños ante riesgos tecnológicos. *Cuadernos Geográficos*, v.45, p. 137-152, 2009.
- TATE, E.; BURTON, C. G.; BERRY, M.; EMRICH, C.T.; CUTTER, S. L.; Integrated hazards mapping tool. *Trans GIS*, v.15, n.5, p.689–706, 2011.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977. 91p.