

# **VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA TERRA INDÍGENA PAQUIÇAMBA, COM A UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY E MÉTODO ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP).**

Nadson de Pablo Costa Silva <sup>1</sup>  
Alexandre Augusto Cardoso Lobato <sup>2</sup>  
Éder Mileno Silva De Paula <sup>3</sup>  
Gabriel Alves Veloso <sup>4</sup>

## **INTRODUÇÃO**

A temática de vulnerabilidade ambiental vem sendo muito debatido nos últimos anos, despertando o interesse em diversas áreas de conhecimento, quando se trata da área ambiental (Aquino, et al., 2017). Nesse sentido, entender a dinâmica da natureza e suas vulnerabilidades tem sido uma ferramenta de suma importância para as ciências ambientais.

Para Figueiredo, et al. (2010), a análise de vulnerabilidade ambiental permite a avaliação de sistemas ambientais em circunstâncias específicas, além disso, se trata de uma informação de grande utilidade para o planejamento ambiental, já que permite localizar onde uma ação específica pode causar danos ambientais que podem ter o potencial de causar um maior efeito e desenvolver iniciativas para reduzir fonte de Pressão.

Logo, para se fazer uma análise de Vulnerabilidade Ambiental - VA de uma área é necessário se utilizar de vários processos analíticos junto a utilização de ferramentas de análises integradas, nesse sentido, Júnior e Rodrigues, (2012) discutem sobre o método *Analytical Hierarchy Process* (AHP), uma hierarquia de decisão composta por níveis ou classes de importância que permitem uma visão ampla das relações envolvidas no processo.

Silva e Nunes (2009), desenvolvem uma discussão de que o *Saaty's Hierarchy Model* (1980), um método de seleção baseado na lógica de uma comparação por pares,

---

<sup>1</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [pablosilvafilho22@gmail.com](mailto:pablosilvafilho22@gmail.com);

<sup>2</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [alexandrelobato.geo@outlook.com](mailto:alexandrelobato.geo@outlook.com);

<sup>3</sup> Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Ceará-UFC, [edermileno@ufpa.br](mailto:edermileno@ufpa.br);

<sup>4</sup> Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Goiás - UFG, [gveloso@ufpa.br](mailto:gveloso@ufpa.br).

em que vários fatores influenciam nos processos de tomada de decisão organizados de forma hierárquica e comparados uns com os outros, bem como um valor de importância relativa, ou peso, é atribuída à relação entre esses elementos, de acordo com uma escala pré-estabelecida que mostra a intensidade com que um fator domina outro.

Nesse sentido, o conceito de Ecodinâmica, de Tricart, (1977) vem sendo a base conceitual para a execução de pesquisas que se aprofundam nas análises integradas, logo, esta pesquisa se fundamenta a partir da metodologia de aplicação feita por Crepani, et al. (2001), que se utiliza de informações ambientais (Geologia, geomorfologia, pedologia e de uso da terra e cobertura vegetal) para fazer uma análise integrada da paisagem no âmbito da vulnerabilidade ambiental.

Logo, a organização dos dados ambientais é de suma importância para a geração dos pesos das classes. Assim, é de grande importância a utilização de softwares de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Com isso, a pesquisa teve como objetivo entender as modificações na TI Paquiçamba e seu nível de vulnerabilidade ambiental a partir dos componentes naturais e antrópicos que estão ocorrendo em seu limite, já que, é perceptível por meio de pesquisas como as de (Pezzuti, et al., 2018; Zuanon, et al., 2020; Zuanon, et al. 2021; Sawakuchi et al., 2023) que a Terra Indígena Paquiçamba vem passando por processos de modificação em suas paisagens, tanto por processos naturais como antrópicos.

Todavia, a modificação antrópica vem sendo mais intensa na área estudada, principalmente com a chegada da hidrelétrica de Belo Monte, que causou a diminuição no volume de água na área da Volta Grande do Xingu (VGX), onde a área de estudo está inserida.

A partir da análise integrada dos componentes ambientais da TI Paquiçamba, foi possível ver que há um nível considerável de áreas de moderada a muito alta VA, no limite da TI Paquiçamba, tornando essa área uma das mais complexas em níveis de mudanças a partir de ações antrópicas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa se baseia na metodologia de aplicação utilizada por Paula (2017) e Lobato (2021), a partir da Ecodinâmica de Tricart (1977), que entendem a dinâmica da paisagem como uma constante mudança, algumas se encontrando em instabilidade e outras em estabilidade.

A Vulnerabilidade Ambiental foi feita a partir da caracterização dos componentes ambientais (geologia, geomorfologia, solos e uso da terra e cobertura vegetal) da terra indígena Paquiçamba. A partir dos componentes, foi definido o grau de Vulnerabilidade Ambiental da área estudada, com o auxílio dos conceitos da *Lógica Fuzzy* e o *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Após esse processo, foram geradas as classes de VA no *Software Qgis*, por meio da calculadora raster utilizando a seguinte fórmula:

$$VA = (UT * GI) + (GEO * GI) + (GEOM * GI) + (S * GI)$$

Sendo GI = Grau de Importância.

UT: Uso da Terra

GEO: Geologia

GEOM: Geomorfologia

S: Solos

De Paula (2011) propôs a caracterização dos componentes ambientais, seguindo níveis de vulnerabilidade ambiental, aplicando a *Lógica Fuzzy*. Sendo assim, foram adaptados para a TI Paquiçamba os níveis de vulnerabilidade para cada componente ambiental e classe, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Classes dos Componentes Ambientais e seus Respectivos Pesos de VA, da Terra Indígena Paquiçamba.

| Componentes Ambientais de Comparação | Classes  | Valor de VA |
|--------------------------------------|--|-------------|
| Geologia                             | Depósitos aluvionares                                      | 1,0         |
|                                      | Granodiorito Belo Monte                                    | 0,4         |
|                                      | Complexo Bacajaí   | 0,6         |
| Geomorfologia                        | Colinas amplas e suaves                                    | 0,6         |
|                                      | Morrotes   | 0,8         |
|                                      | Pedrais  | 0,4         |
|                                      | Planícies fluviais   | 1,0         |
|                                      | Praias   | 1,0         |
| Solo                                 | Afloramento de Rochas + Neossolo Quatzarênico Hidromórfico | 0,4         |
|                                      | Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Típico                | 1,0         |
|                                      | Neossolo Litólico Distrófico Típico                        | 1,0         |
|                                      | Neossolo Flúvico Tb Distrófico Típico                      | 1,0         |
|                                      | Plintossolo Háptico Alumínico Típico                       | 0,4         |
|                                      | Argissolo Amarelo Alumínico Típico                         | 0,4         |
| Uso da Terra e Cobertura Vegetal     | Agricultura  | 0,8         |
|                                      | Areia  | 1,0         |
|                                      | Floresta Arbustiva e Herbácea de Influência Fluvial        | 1,0         |
|                                      | Floresta Ombrófila Aberta Com Cipó                         | 0,8         |
|                                      | Floresta Ombrófila Aluvial                                 | 1,0         |
|                                      | Floresta Ombrófila Densa                                   | 0,8         |

|  |                                   |     |
|--|-----------------------------------|-----|
|  | Floresta Ombrófila em Regeneração | 0,6 |
|  | Pasto Sujo                        | 0,8 |
|  | Rocha Exposta                     | 0,4 |

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Paula (2011).

Após a atribuição dos valores de vulnerabilidade, foi gerada a matriz de comparação pareada para cada componente ambiental (Tabela 2).

**Tabela 2:** Parâmetros Para Análise da Vulnerabilidade Ambiental da TI Paquiçamba.

| Parâmetros    | Uso da Terra | Solo | Geomorfologia | Geologia |
|---------------|--------------|------|---------------|----------|
| Uso da Terra  | 1            | 3    | 5             | 7        |
| Solo          | 0,33         | 1    | 2             | 3        |
| Geomorfologia | 0,2          | 0,5  | 1             | 2        |
| Geologia      | 0,14         | 0,33 | 0,5           | 1        |

Fonte: Autores.

Os pesos (Tabela 3) foram fatores essenciais para gerar as classes de VA dando valor/grau de vulnerabilidade para a terra indígena Paquiçamba, que vai de VA Muito Baixa até VA Muito Alta, estando distribuídas pelo limite da área estudada (Figura 2).

**Tabela 3:** Peso dos Componentes Ambientais, Resultante da Calculadora AHP.

| Pesos dos Critérios              | Valores |
|----------------------------------|---------|
| Uso da Terra e Cobertura Vegetal | 0,587   |
| Solo                             | 0,218   |
| Geomorfologia                    | 0,123   |
| Geologia                         | 0,072   |

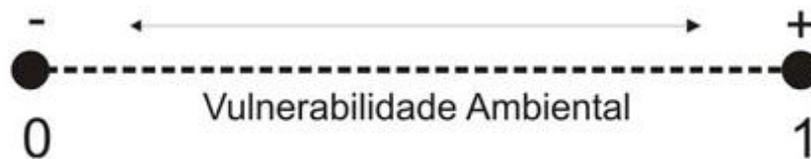
Fonte: Elaborado pelos autores

O nível de consistência para as matrizes (Geologia, geomorfologia, pedologia e de uso da terra e cobertura vegetal) foi de 0,7%, dando maior qualidade no resultado da vulnerabilidade ambiental da TI Paquiçamba.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos processos de atribuições de pesos dos critérios, foram geradas as classes de VA da área em estudo, sendo definidos com base na escala de 0 a 1, conforme exemplifica a figura 1.

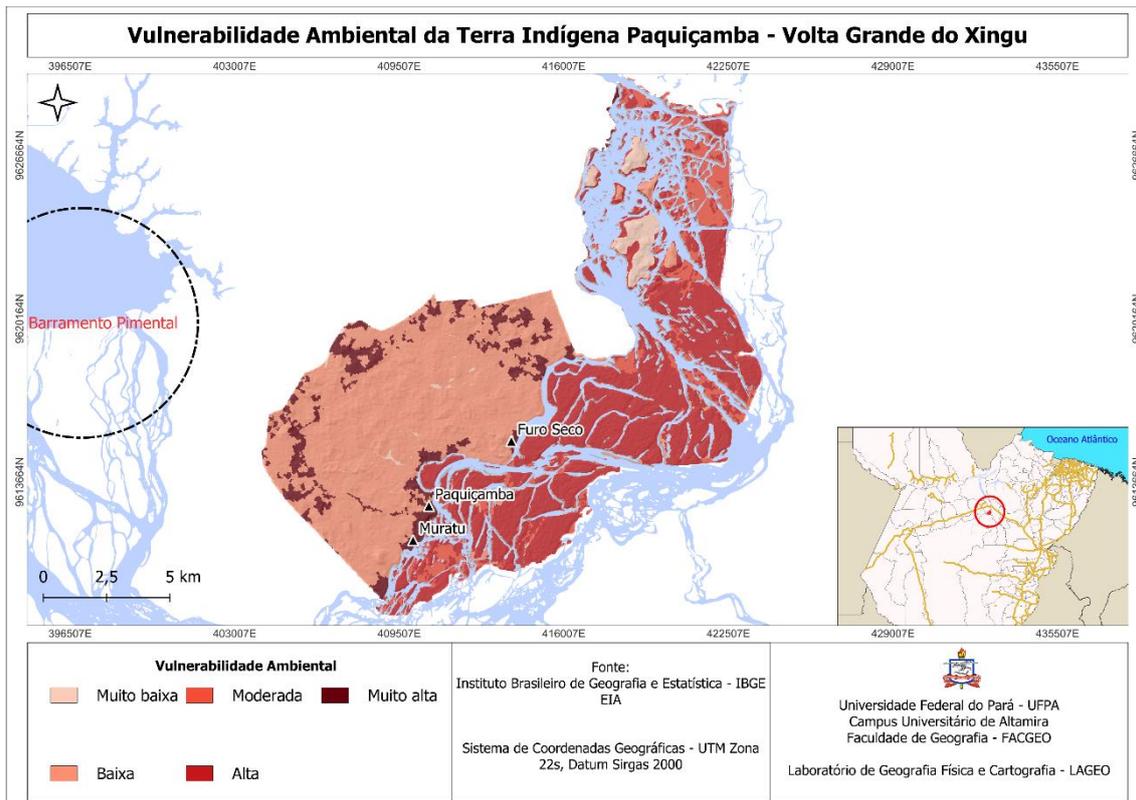
**Figura 1:** Escala de Vulnerabilidade Ambiental.



**Fonte:** Paula (2011).

De Paula (2017) subdividiu tais classes de vulnerabilidade ambiental em 5 categorias, sendo: muito baixa; baixa; moderada; alta; e muito alta. O mapa da Figura 2 representa a vulnerabilidade e Ecodinâmica da TI Paquiçamba em uma escala de 1:150.000, variando os níveis de VA, que vão de VA Muito Baixa VA Muito Alta.

**Figura 2:** Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da TI Paquiçamba.



**Fonte:** Autores.

No Limite da TI Paquiçamba, as áreas de VA muito baixa e baixa estão relacionadas as áreas de floresta ombrófila densa (VA muito baixa) sendo essas, ilhas, consideradas na geomorfologia da área como áreas de morrotes, se tratando de geologia, está inserida classe de Granodiorito Belo Monte, contendo com solos do tipo AR1-Afloramentos Rochosos e Argissolo amarelo alumínico típico – PAa4. Para as áreas de VA baixa temos, floresta ombrófila aberta com cipó, agricultura e pasto sujo (uso da terra e cobertura vegetal), áreas de morrotes, colinas amplas e suaves e planícies fluviais (Geomorfologia), complexo bacajaí e granodiorito belo monte (Geologia) e Afloramentos Rochosos - AR1, Plintossolo háplico alumínico típico – FXA, Argissolo amarelo alumínico típico – PAa4, Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico – PVAa e Neossolo litólico distrófico típico - RLd (Pedologia).

As áreas de VA moderada estão relacionadas às áreas de rocha exposta (considerando os dados de uso da terra e cobertura vegetal). Para a geomorfologia, são as áreas de pedrais, na geologia, essas áreas são as de depósitos aluvionares e granodiorito belo monte, para a pedologia, são as áreas de Afloramentos Rochosos - AR1, Argissolo

amarelo alumínico típico – PAa4, e Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico – PVAa.

As classes dos tipos de uso da terra e cobertura vegetal para as áreas de VA alta são: areia, floresta arbustiva e herbácea de influência fluvial e floresta ombrófila aluvial. Para a geomorfologia, essas áreas correspondem às seguintes classes: pedrais, planícies fluviais e praias. Na geologia, são as classes: depósitos aluvionares e granodiorito belo monte. Os tipos de solo são os seguintes: Afloramentos Rochosos - AR1, Argissolo amarelo alumínico típico – PAa4, e Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico – PVAa e Neossolo flúvico Tb distrófico típico – Rubd.

A VA muito alta está relacionada as áreas de floresta ombrófila em regeneração (Uso da terra e cobertura vegetal), colinas amplas e suaves (Geomorfologia), complexo bacajaí e depósitos aluvionares (Geologia) e Afloramentos Rochosos - AR1, Plintossolo háplico alumínico típico – FXA, Argissolo amarelo alumínico típico – PAa4, Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico – PVAa e Neossolo litólico distrófico típico - RLd (Pedologia).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A TI Paquiçamba passou por um processo de transformação significativa, o que pode ser avaliado através da análise integrada dos componentes ambientais, junto a aplicação da *Lógica Fuzzy* em complemento ao método de Análise de Processo Hierárquico (AHP), que mostrou sua eficiência para se fazer uma análise ambiental de vulnerabilidade, dando subsídio ao planejamento ambiental para a área analisada.

As áreas de planície fluvial da TI Paquiçamba estão entre as que mais sofreram com as mudanças antrópicas na área, sendo destacadas com o nível de VA muito baixa, até o nível de VA alta, o que está relacionada as mudanças causadas pela diminuição da água e do Trecho de Vazão Reduzida - TVR, estando relacionados também com a pedologia, geologia, geomorfologia e principalmente pelas ações antrópicas sofridas no local.

Logo, a análise integrada da paisagem nos traz respostas mais concretas das modificações dos ambientes, e entender essas modificações é de suma importância para um bom planejamento ambiental. A partir das análises utilizando a *Lógica Fuzzy* e o método de Análise de Processo Hierárquico (AHP), podemos entender a dinâmica de transformação da TI Paquiçamba, a partir das transformações antrópicas.

Conclui-se que, há a necessidade de maiores análises, tanto no âmbito ambiental como no social, para ser dado um diagnóstico completo dessas modificações, porém, a pesquisa mostra avanços no que tange a utilização de métodos de aplicação que são cada vez mais viáveis, principalmente quando se trata de áreas remotas.

**Palavras-chave:** Lógica Fuzzy; Áreas vulneráveis, Terras Indígenas, Método AHP.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço o auxílio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de doutorado, e por tornar possível as pesquisas na região do Xingu, e ao Laboratório de Geografia Física e Cartografia – LAGEO pelo aporte tecnológico e teórico.

### **REFERÊNCIAS**

AQUINO, A. R. et al. **Vulnerabilidade ambiental**. In: Vulnerabilidade ambiental. Blucher Open Access, 2017. p. 15-28.

CÂMARA, G. et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

DE FIGUEIREDO, M. C. B. et al. **Análise da vulnerabilidade ambiental**. 2010.

JÚNIOR, J. F. P.; RODRIGUES, S. C. **O método de análise hierárquica–AHP– como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG)**. Revista do Departamento de Geografia, v. 23, p. 4-26, 2012.

LOBATO, A. A. C. et al. **Análise geocológica como subsídio ao planejamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do igarapé ambé, Altamira-PA**. 2021.

Paula, E.M.S. **Paisagem Fluvial Amazônica: Geoecologia Do Tabuleiro Do Embaubal - Baixo Rio Xingu**. 2017. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

PEZZUTI, J. et al. **Xingu, o rio que pulsa em nós**. São Paulo: Instituto Socioambiental (ISA), 2018.

SAWAKUCHI, A. O. et al, **Monitoramento Ambiental Territorial Independente da Volta Grande do Xingu (MATI-VGX). Hidrograma Piracema: o Monitoramento Ambiental Territorial Independente da Volta Grande do Xingu e os critérios ecossistêmicos para manutenção da vida**. Altamira, Pa: Instituto Socioambiental – ISA, (2022).

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. **Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p. 5435-5442, 2009.

TRICART, J. **ecodinâmica**. Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria Técnica, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambient, 1977.

ZUANON, J. et al. **Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do xingu**. Papers do naea, v. 28, n. 2, 2021.

ZUANON, J. et al. **Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do xingu**. Papers do naea, v. 28, n. 2, 2020.