

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EUTROFIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO

Maria Mariah M. W. E. Costa de Farias^{1} & Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa² & Vânia Soares de Carvalho²*

Resumo – O aporte de nutrientes como fósforo e nitrogênio em reservatórios causa diversos impactos na qualidade da água, sendo um dos principais a eutrofização. Normalmente, o nível de trofia de um lago ou reservatório está associado ao uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica onde ele está localizado. Este artigo objetivou determinar a vulnerabilidade dos reservatórios Juczinho e Tapacurá à eutrofização, ambos localizados na bacia hidrográfica do Capibaribe, Pernambuco, a partir de uma análise que leva em conta diversas variáveis, dentre elas a erosão e o aporte de sedimentos ricos em fósforo, a carga poluente afluyente aos reservatórios e as características morfométricas do reservatório. Os resultados obtidos mostram que o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica juntamente com o lançamento de efluentes domésticos diretamente nos cursos d'água sem tratamento adequado são os fatores que mais interferem na qualidade da água dos reservatórios. Observando-se os aspectos em conjunto, conclui-se que os reservatórios apresentam alta vulnerabilidade à eutrofização, fazendo-se necessário a adoção de medidas preventivas e corretivas para minimizar os impactos do aporte de nutrientes, especialmente no que tange à regulamentação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica e ao tratamento adequado dos esgotos domésticos.

Palavras-Chave – fósforo, erosão, morfometria.

DETERMINATION OF VULNERABILITY TO EUTROPHICATION IN WATER RESERVOIRS: A CASE STUDY IN CAPIBARIBE RIVER BASIN, PERNAMBUCO

Abstract – The nutrient input as phosphorus and nitrogen in reservoirs have been causing various impacts on the water quality, eutrophication is one of the main impacts. This research aimed to evaluate the vulnerability of Juczinho and Tapacurá reservoirs to eutrophication, both located in Capibaribe River basin, Pernambuco, from complex analyzes that has been taken into account several variables, among them, erosion and sediments supply of rich phosphorus, pollutant load affluent to reservoirs, mainly from domestic sewage without treatment and morphometric characteristics of the reservoirs. The results obtained show that the use and occupation of soil in the river basin and the launching of domestic sewage directly in water courses without adequate treatment. Observing the aspects altogether, it concludes that the reservoirs presents high vulnerability to eutrophication, needing to adopt measurements to minimize the impact of the nutrient input, especially in terms of regulating the use and occupation of soil in the river basin and the appropriate domestic sewage treatment.

Keywords – phosphorus, erosion, morphometry.

¹ Instituto Federal de Pernambuco – IFPE Campus Afogados da Ingazeira, mariahfarias@yahoo.com.br

² Instituto Federal de Pernambuco – IFPE Campus Recife, ionarameh@yahoo.com.br; vania.sc@gmail.com

* Autor Correspondente

INTRODUÇÃO

O aporte de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio em reservatórios causa diversos impactos na qualidade da água, sendo um dos principais a eutrofização, ou seja, o crescimento excessivo de plantas aquáticas devido ao enriquecimento das águas com nutrientes, de forma a causar interferência nos usos desejáveis dos corpos d'água. O aumento do grau de trofia em condições naturais pode levar centenas de anos. Entretanto, o aumento do aporte de nutrientes provenientes das atividades antrópicas tem acelerado o processo de eutrofização. Normalmente, o nível de trofia de um lago ou reservatório está associado ao uso e ocupação do solo na área da bacia hidrográfica onde ele está localizado. Esta pesquisa objetivou avaliar a vulnerabilidade dos reservatórios Juczinho e Tapacurá à eutrofização, ambos localizados na bacia hidrográfica do Capibaribe, Pernambuco, a partir de análises complexas que levam em conta diversas variáveis, dentre elas a erosão e o aporte de sedimentos ricos em fósforo, a carga poluente afluyente aos reservatórios, provenientes principalmente de esgotos domésticos sem tratamento e as características morfométricas do reservatório.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo corresponde a duas sub-bacias inseridas na bacia hidrográfica do Capibaribe, no estado de Pernambuco, localizada entre as latitudes 7° 41' e 8° 19' S e longitude 34° 51' e 36° 42' W Gr, Figura 1. Devido à sua extensão, é possível encontrar vários domínios climáticos: clima do tipo úmido, megatérmico e com pequena ou nenhuma deficiência de água (próximo ao litoral), clima variando do tipo semi-árido para seco e sub-úmido, megatérmico e com pequeno ou nenhum excesso hídrico e clima do tipo semi-árido, megatérmico e com pequeno ou nenhum excesso hídrico (PERNAMBUCO, 2002).

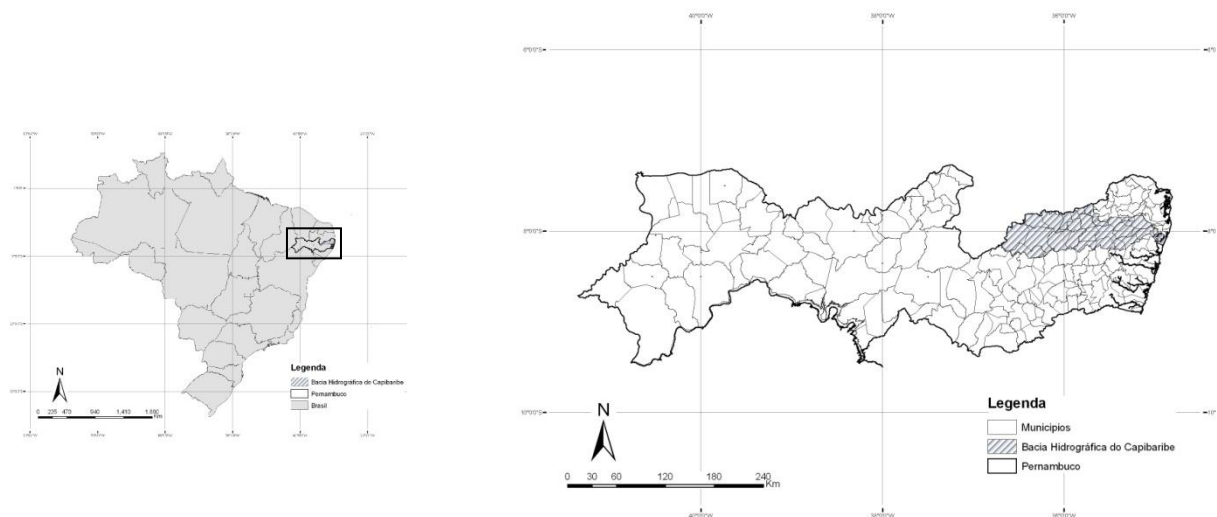


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Capibaribe no estado de Pernambuco e no Brasil

A definição de indicadores ou aspectos que contribuem para a eutrofização em corpos d'água baseou-se em literatura nacional e internacional sobre o assunto, que cita as principais causas, conseqüências e formas de avaliação deste processo (SCHÄFER, 1985; SPERLING, 1997;

ANDREOLLI E CARNEIRO, 2005; CHAPRA, 2008), sendo objeto de estudo desse trabalho os seguintes aspectos: erodibilidade, cargas poluentes e sensibilidade dos reservatórios, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores de vulnerabilidade ambiental à eutrofização analisados

Fatores analisados	Aspectos	Indicadores
Erodibilidade	Pedologia, Geomorfologia, Clima, Uso e ocupação do solo	Erodibilidade do solo, Declividade (%), Intensidade pluviométrica (mm), Exposição do solo
Carga poluente	Núcleos urbanos, Vilas rurais, Aquicultura, Criação de bovinos nas margens, Poluição difusa (escoamento superficial)	Carga de Fósforo Total (kg/ano), Profundidade média do reservatório (m), Tempo de detenção hidráulica (ano)
Sensibilidade	Profundidade do reservatório	Profundidade relativa (%)

Erodibilidade

Para a análise da vulnerabilidade à erosão da área utilizou-se a metodologia de análise multicritério, onde são consideradas as relações de dependência entre as diversas variáveis analisadas. Seguindo a metodologia proposta por Ross (1994) para avaliação da vulnerabilidade ambiental apoiado em um modelo baseado em classes de declividade, as variáveis consideradas para o desenvolvimento deste trabalho foram a declividade, a intensidade pluviométrica, os tipos de solo e a cobertura vegetal na área das sub-bacias estudadas.

Os dados obtidos foram classificados segundo seu grau de estabilidade, seguindo a metodologia proposta por Ross (*op cit.*) e Crepani *et al* (2001), sendo o índice 1 associado a uma maior estabilidade, o 2 correspondendo à estabilidade média, e o 3 como o mais instável ou de maior vulnerabilidade. Foram atribuídos pesos iguais a todas as variáveis para simplificação da análise, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de vulnerabilidade e intervalos associados para cada indicador

Vulnerabilidade	Declividade	Intensidade pluviométrica	Tipos de solos	UOS
1 (baixa)	Até 6%	< 50	Latossolo amarelo, Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo vermelho-escuro, Latossolo roxo, Latossolo bruno, Latossolo húmico, Latossolo bruno-húmico	Vegetação densa, mata ciliar
2 (média)	De 6% a 20%	50 – 525	Podzólico amarelo, Podzólico vermelho-amarelo, Podzólico vermelho-escuro, Terra roxa estruturada, Bruno não-cálcico, Brunizém, Brunizém avermelhado, Planossolo	Vegetação esparsa
3 (alta)	Acima de 20%	> 525	Solos litólicos, Solos aluviais, Regossolo, Areia quartzosa, Vertissolo, Solos orgânicos, Solos hidromórficos, Glei húmico, Glei pouco húmico, Plintossolo, Laterita hidromórfica, Solos concrecionários lateríticos, Rendzinas, Afloramento rochoso	Solo exposto, afloramentos rochosos, áreas agrícolas, pastagens

Carga poluente

Para estimar a carga de fósforo total que chega aos reservatórios, foram utilizados os seguintes critérios, baseados em indicações encontradas na literatura: carga proveniente de núcleos urbanos inseridos nas sub-bacias; carga proveniente de vilas rurais localizadas a até 500 m do espelho d'água; carga proveniente de piscicultura; e carga difusa proveniente da criação de bovinos às margens dos reservatórios. Outras fontes de poluição pontual como matadouros, indústrias e difusas, a partir do uso e ocupação do solo na área das sub-bacias, não foram consideradas para o cálculo da carga de fósforo total afluente aos reservatórios.

Para estimativa do aporte de fósforo total nos reservatórios foram somadas as cargas obtidas em cada item descrito anteriormente. O valor obtido foi aplicado no modelo empírico de Salas e Martino (Equação 1) para estimativa da concentração de fósforo em lagos tropicais (SPERLING, 1996), onde P corresponde à concentração, L à carga, V ao volume do reservatório e t é o tempo de detenção hidráulica.

$$P = \frac{L \times 10^3}{V \times \left(\frac{1}{t} + \frac{2}{\sqrt{t}}\right)} \quad (1)$$

Sensibilidade

A profundidade relativa é a relação entre a profundidade máxima e o diâmetro médio de um lago ou represa, sendo o valor fornecido em unidades percentuais.

Segundo Schäfer (1985), lagos de grande superfície e pouca profundidade apresentam uma profundidade relativa menor do que 2% e lagos profundos e de superfície pequena, valores maiores que 4%. Na Tabela 3 é apresentada a profundidade relativa em percentual e os graus de vulnerabilidade associados.

Tabela 3 – Valores de vulnerabilidade para diferentes profundidades relativas

Profundidade Relativa (Zr)	Grau de Vulnerabilidade
Zr > 4%	1
2% ≤ Zr ≤ 4%	2
Zr < 2%	3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Erodibilidade

Foram obtidos os mapas temáticos de declividade, intensidade pluviométrica, tipos de solos e cobertura vegetal, classificados segundo seu grau de vulnerabilidade (baixa, média e alta) para as duas sub-bacias estudadas. A partir da análise dos mapas gerados foi possível identificar a vulnerabilidade de cada pixel, sendo considerada a vulnerabilidade ambiental da área a da classe que apresentou a maior frequência de células no grid final.

Em relação à variável declividade, na sub-bacia do Jucazinho predominam áreas de baixa vulnerabilidade, ou seja, com declividade menor que 6%. Em Tapacurá predominam as áreas com declividade entre 6% e 20%, ou média vulnerabilidade.

A intensidade pluviométrica, tanto em Jucazinho quanto em Tapacurá, apresentou-se entre o intervalo de 50 mm/mês a 525 mm/mês, ou seja, de média vulnerabilidade.

Em relação aos tipos de solo, as duas áreas estudadas apresentaram média vulnerabilidade, com predominância de argissolos (ou podzólicos) em Tapacurá, e argissolos e planossolos em Jucazinho.

A cobertura vegetal determina o grau de proteção do solo. As duas sub-bacias estudadas apresentaram prevalência de áreas de alta vulnerabilidade à erosão, ou seja, uma maior área com cobertura vegetal instável ou ausência dela. Em Jucazinho predominam áreas de solo exposto e afloramentos rochosos, além de áreas de pastagem e vegetação rala. Em Tapacurá, extensas áreas agrícolas, especialmente com a monocultura da cana-de-açúcar, contribuíram para aumentar a vulnerabilidade da área.

Tabela 4 – Frequência de células para cada indicador e respectivo valor de vulnerabilidade

Vulnerabilidade	Jucazinho				Tapacurá			
	Declividade	Intensidade pluviométrica	Tipos de solos	UOS	Declividade	Intensidade pluviométrica	Tipos de solos	UOS
1	49.6%	-	38%	16.7%	30.4%	-	13.7%	7.5%
2	35.6%	100%	61%	26.3%	52.3%	100%	77.9%	4.3%
3	14.8%	-	1%	57%	17.3%	-	8.4	88.2%

Utilizando a ferramenta de álgebra de mapas, foi feita a integração dos quatro mapas temáticos gerados, onde o resultado foi uma carta-síntese de vulnerabilidade ambiental das áreas estudadas. Verificou-se que mais de 90% da área das duas sub-bacias apresentam média vulnerabilidade à erosão, conforme mostrado na Figura 2.

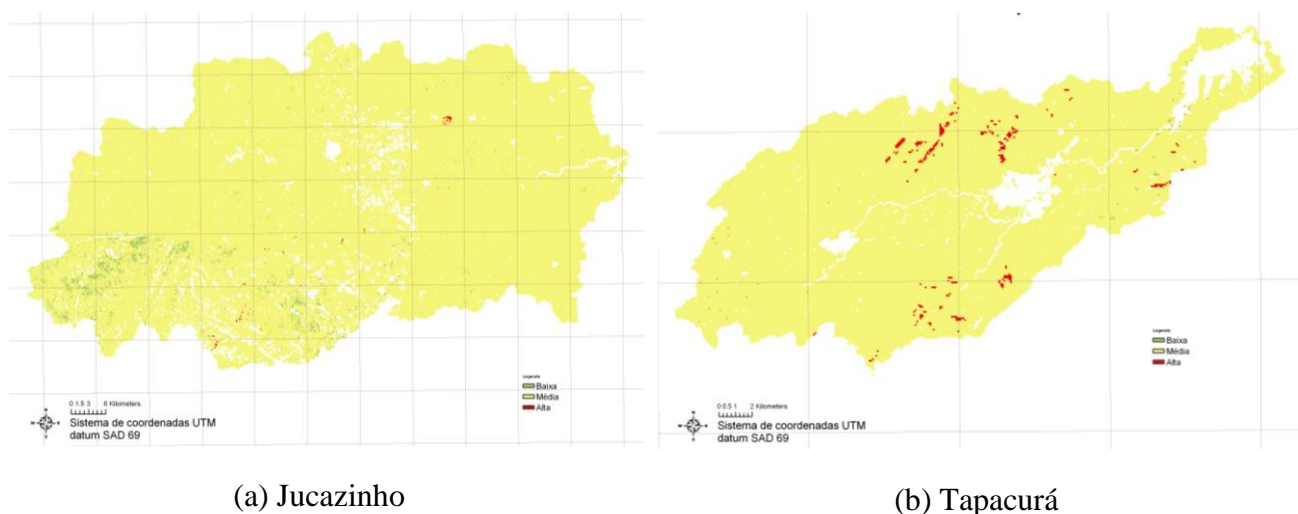


Figura 2 – Vulnerabilidade à erosão para as bacias de contribuição de Jucazinho e Tapacurá

Carga Poluente

Como resultado do somatório das cargas afluentes a cada reservatório tem-se 62.009,45 kg P/ano para o Jucazinho e 48.732,02 kg P/ano em Tapacurá. Esses valores foram aplicados na fórmula de Salas e Martino para estimativa da concentração de fósforo em lagos tropicais (Eq. 01), da qual foram obtidas as concentrações de 0,09 mg/l em Jucazinho e 0,15 mg/l em Tapacurá. Entretanto, segundo a Resolução CONAMA nº 357 (2005), a concentração de fósforo total em águas doces de classe 2 não deve ultrapassar 0,03 mg/l em ambientes lênticos, sendo a carga de fósforo máxima admissível nos reservatórios de 19.272,08 kg/ano em Jucazinho e 9.613,19 kg/ano em Tapacurá.

Sensibilidade

A profundidade relativa tanto em Jucazinho quanto em Tapacurá é baixa, ou seja, menor que 2% (Tabela 5), apresentando uma alta vulnerabilidade à eutrofização, visto que lagos com menores profundidades têm maior penetração de luz e, conseqüentemente, maior proliferação de algas.

Tabela 5 – Vulnerabilidade devido à sensibilidade

Reservatório	Profundidade relativa – Zr (%)	Vulnerabilidade
Jucazinho	0,45	3
Tapacurá	0,29	3

Vulnerabilidade à eutrofização

Para determinação da vulnerabilidade à eutrofização foi feita a média aritmética simples da vulnerabilidade ambiental dos aspectos analisados. Apesar do aspecto erodibilidade ter sido determinado como de média vulnerabilidade ambiental, devido principalmente à intensidade pluviométrica na área de estudo, a vulnerabilidade ambiental dos reservatórios à eutrofização foi alta, com destaque para o aspecto carga poluente, onde foram estimados valores elevados de aporte de fósforo proveniente do esgoto doméstico. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Vulnerabilidade à eutrofização

Aspectos	Vulnerabilidade	
	Jucazinho	Tapacurá
Erodibilidade	2	2
Carga poluente	3	3
Sensibilidade	3	3
Média aritmética	2,66	2,66
Vulnerabilidade à eutrofização	Alta	Alta

CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, não foram consideradas cargas difusas como o escoamento superficial de áreas urbanas e rurais, nem o consumo de fósforo ao longo do curso d'água. Os resultados obtidos mostram que os reservatórios têm alta vulnerabilidade à eutrofização, principalmente o reservatório Tapacurá, por diversos aspectos, com destaque para a sua morfometria (baixa profundidade relativa) e para o uso e ocupação do solo na área da sub-bacia, onde predominam extensas áreas agrícolas,

principalmente a monocultura de cana-de-açúcar. Na sub-bacia do Jucazinho, destacam-se os afloramentos rochosos e áreas de solo exposto em relação ao aspecto erosão. A população residente na área dessa bacia é maior do que na bacia do Tapacurá, sendo maior o aporte de fósforo ao reservatório proveniente de esgotos domésticos. Observando-se os aspectos em conjunto, percebe-se a necessidade da adoção de medidas preventivas e corretivas para minimizar os impactos do aporte de nutrientes, especialmente no que tange à regulamentação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica e ao tratamento adequado dos esgotos domésticos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

ANDREOLLI, C. & CARNEIRO, C. (2005). *Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados*. Curitiba: Sanepar.

BRASIL. (2005). *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em 3 jun 2009.

CHAPRA, STEVEN C. (2008). *Surface Water-Quality Modeling*. Long Grove: Waveland Press.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. (2001). *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos, (INPE 8454-RPQ/722).

PERNAMBUCO (2002). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Capibaribe – PE*. SRH.

ROSS, J. L. S. (1994). *Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados*. In: Revista do Departamento de Geografia nº8, FFLCH-USP, São Paulo.

SCHÄFER, A. (1985). *Fundamentos de ecologia biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS.

SPERLING, E. V. (1997). *Influência do parâmetro profundidade relativa na qualidade da água de lagos e represas*. In: 19. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos do 19. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 1. p. 30-35.

SPERLING, M. V. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: UFMG.