

## AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO GRANDE DO NORTE.

### ENVIRONMENTAL VULNERABILITY ASSESSMENT OF WATERSHEDS IN RIO GRANDE DO NORTE.

**Érica de Sousa Bidô**

Engenheira Ambiental / Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. ([erica\\_bido@hotmail.com](mailto:erica_bido@hotmail.com))

**Joana Darc Freire de Medeiros**

Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental / Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. ([joanadarc.medeiros@gmail.com](mailto:joanadarc.medeiros@gmail.com))

#### Resumo

Estudos de vulnerabilidade ambiental vêm se tornando cada vez mais frequentes e abrangem diferentes sistemas ambientais, tais como bacias hidrográficas, sendo uma ferramenta que colabora na identificação e avaliação de impactos ambientais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a vulnerabilidade ambiental na região semiárida, identificando os indicadores que melhor representam a realidade da região. Foram escolhidas as bacias de contribuição dos reservatórios Campo Grande, Cruzeta, Pau dos Ferros e Umari, localizadas em diferentes pontos do Estado do Rio Grande do Norte. Para tal avaliação, foi utilizada a metodologia Vulneragri (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010), a partir da consideração de 13 indicadores divididos nos critérios de exposição, sensibilidade do meio e capacidade de resposta. Verificou-se que todas as bacias apresentaram vulnerabilidade média, não mostrando diferença no resultado por conta da mudança de localização geográfica.

**Palavras-chave:** Impactos ambientais, índices ambientais, Vulneragri.

#### Abstract

Environmental vulnerability studies have been frequent and cover different environmental systems, such as watershed, becoming a tool that collaborates on identification and assessment of environmental impacts. The aim of this work was to evaluate the semiarid environmental vulnerability, identifying indicators that represent region reality. The watershed of Campo Grande reservoirs, Cruzeta, Pau dos Ferros e Umari were chosen, they located in different parts of the Rio Grande do Norte. For the purposes of this evaluation the Vulneragri methodology was used (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010), from the consideration of 13 indicators divided in into the exposure, sensibility of environment and response capacity criteria. The watersheds have presented medium vulnerability, not indicating difference in the result by the geographical location diverse.

**Key words:** Environmental impacts, environmental index, Vulneragri.

#### INTRODUÇÃO

Estudos de avaliação da qualidade ambiental vêm assumindo papel de destaque desde a declaração adotada na Conferência sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972. A importância de se conhecer a vulnerabilidade ambiental de um determinado sistema está relacionada com a possibilidade de identificar ameaças, fornecendo previsões quanto ao surgimento de impactos ambientais negativos, caso não haja nenhuma mudança no sistema. Assim, os estudos de avaliação da vulnerabilidade ambiental fornecem subsídios ao planejamento de

recuperação de sistemas em degradação (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010).

O conceito de vulnerabilidade ambiental é muito controverso entre os pesquisadores da área; não há uma definição fechada e estritamente correta, e cada estudo tende a relacionar vulnerabilidade ambiental com as causas de degradação às quais o seu objeto de trabalho está sujeito. Metzger *et al.* (2006) associaram mudanças no uso e ocupação do solo com a vulnerabilidade, identificando potenciais impactos ambientais nas áreas estudadas; Tixier *et al.* (2006) relacionaram a vulnerabilidade ambiental com a exposição a pressões industriais,

desenvolvendo ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de áreas localizadas próximas a indústrias; Tran *et al.* (2002) também consideraram que a vulnerabilidade estava associada a pressões, quando estudaram um método capaz de classificar ecossistemas em relação às condições ambientais e aos impactos; já Villa e Mcleod (2002) associaram a vulnerabilidade a características do próprio meio, como sua resiliência ou capacidade de recuperação após um dano, assim como à exposição a pressões; e Shao *et al.* (2016) utilizaram o conceito de vulnerabilidade ambiental para avaliar impactos ambientais sobre áreas de pastagens, considerando dados de tipo de solos, população, cobertura vegetal, precipitação, temperatura, relevo.

No entanto, mesmo sem um consenso sobre o conceito de vulnerabilidade ambiental, um dos modelos conceituais mais utilizados foi apresentado por Turner *et al.* (2003) que considera a vulnerabilidade como uma função dos fatores exposição, sensibilidade e resiliência ou capacidade de resposta.

A exposição pode ser entendida como sendo o grau e a extensão das perturbações aos quais os ecossistemas estão expostos. A sensibilidade está relacionada com o grau em que um ambiente é afetado, de modo adverso ou benéfico, por mudanças ambientais; e a capacidade de resposta é o potencial de implementação de medidas de adaptação, ou seja, a habilidade de fazer uso de recursos ou oportunidades para responder a mudanças ambientais que venham a ocorrer (METZGER *et al.*, 2006).

O modelo de Turner tem sido amplamente utilizado (CHEN *et al.*, 2014; ADGER, 2006; HUGHEY *et al.*, 2004; TIXIER *et al.*, 2005). Lançado pela Embrapa Agroindústria Tropical, o método Vulneagri (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010) foi desenvolvido com base no modelo conceitual apresentado por Turner *et al.* (2003) e foi empregado no estudo da vulnerabilidade ambiental de quatro bacias hidrográficas localizadas no nordeste brasileiro, conseguindo identificar questões ambientais relacionadas a agroindústria.

Villa e McLeod (2002) apontam, pelo menos, três passos necessários à construção de um método de avaliação da vulnerabilidade ambiental: (i) definição do conceito de vulnerabilidade; (ii) escolha do sistema a ser avaliado e (iii) escolha e organização dos indicadores ambientais.

Já Cruz *et al.* (2013) destacam que modelos de avaliação de fragilidades ambientais devem ser

capazes de mostrar o potencial de degradação ambiental na área analisada, bem como a diferenciação de regiões por meio do critério de maior ou menor fragilidade, utilizando indicadores que possibilitem a demonstração das possíveis alterações nos diferentes componentes do meio.

No que se refere ao sistema a ser avaliado, Vaeza *et al.* (2010) consideram que a bacia hidrográfica pode ser considerada uma boa unidade de planejamento ao se tratar do uso e exploração dos recursos naturais, pois esse sistema apresenta limites imutáveis, facilitando a delimitação da área de estudo, além de contribuir para o acompanhamento das alterações naturais ou antrópicas. O uso de bacias hidrográficas como unidade de planejamento (Lei 9433/97) e objeto de estudo em avaliações de impactos ambientais (Resolução CONAMA N°1, de 1986) reforça a importância da análise de vulnerabilidade ambiental neste recorte geográfico (BRASIL, 1997; 1986).

Por outro lado, no nordeste brasileiro, a disponibilidade hídrica, as atividades econômicas e, até mesmo, os aglomerados humanos estão intrinsecamente relacionados com a existência de reservatórios, e os impactos ambientais que ocorrem na bacia hidrográfica de contribuição do açude repercutem diretamente sobre a disponibilidade hídrica, seja em termos quantitativos ou qualitativos.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas de contribuição de quatro açudes da região semiárida do Rio Grande do Norte, identificando os indicadores que melhor representam a realidade da região.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

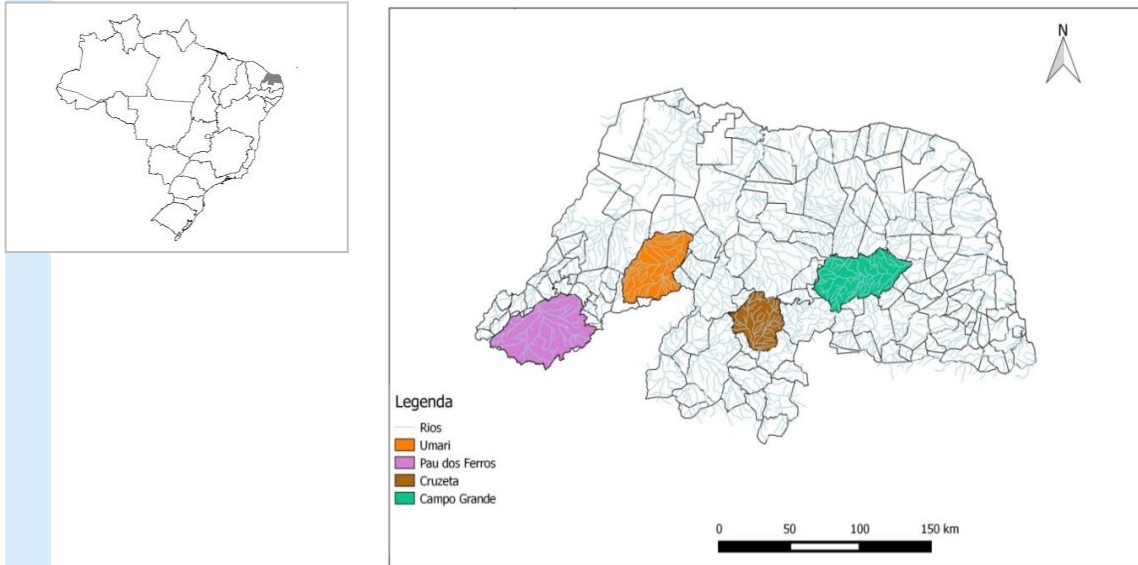
Foram escolhidas, para este estudo, quatro bacias hidrográficas de açudes em diferentes pontos do Estado do Rio Grande do Norte-RN (Figura 1).

A bacia hidrográfica do açude Campo Grande está localizada na mesorregião Agreste. Esta é uma região de predominância da atividade agrícola, com clima caracterizado por muito quente e semiárido, e precipitação média anual de 500 mm. A região vem apresentando nos últimos anos um leve decréscimo populacional, passando de 13,9% da população do Estado, em 2000, para 13,4% em 2010.

A bacia hidrográfica do açude Cruzeta localiza-se na região Seridó, com clima muito quente e semiárido, e com precipitação média anual entre 500 e 600 mm. A região Seridó, após a crise do algodão, vem apresentando uma ligeira decadência, inclusive em relação à população a

qual passou de 26,7% da população do Rio Grande do Norte, em 2000, para 26,0% em 2010. A atividade de mineração também já foi forte na região, mas esta também está em decadência e, hoje, a principal atividade econômica no Seridó é a agropecuária.

**Figura 1: Localização das bacias hidrográficas selecionadas.**



Fonte: Produção dos próprios autores.

As duas outras bacias selecionadas foram as dos açudes Pau dos Ferros e Umari, ambas localizadas na mesorregião Oeste, que apresenta clima também caracterizado por muito quente e semiárido, e precipitação média anual de 700 mm. Na região dessas bacias, há predominância de atividades relacionadas à exploração de petróleo e fruticultura irrigada (FREIRE; CLEMENTINO, 2011; SERHID, 1998).

### Cálculo do Índice de Vulnerabilidade

Neste estudo, o conceito de vulnerabilidade foi relacionado com a análise de três critérios: a exposição às pressões ambientais sofridas pelo ecossistema, a sensibilidade natural do meio para sofrer degradação e a capacidade de resposta para a recuperação. Assim, quanto maiores as pressões ambientais, quanto maior a sensibilidade do meio, e quanto menor a capacidade de resposta, maior será a vulnerabilidade do sistema.

Para avaliar a vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas, foi utilizada metodologia baseada no método Vulneragri apresentado por Figueirêdo *et al.* (2010), por ser um método simples e aplicável a ambientes rurais da região

semiárida. Este método calcula o índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) pela média simples dos valores finais obtidos para cada critério, de acordo com a equação 1:

$$IVA = \frac{Ex+Sm+Cr}{3} \quad (1)$$

onde:

Ex = Exposição

Sm = Sensibilidade do meio

Cr = Capacidade de resposta

sendo que os critérios são calculados por meio da média simples (pesos iguais) dos valores dos seus indicadores.

O método original buscava basicamente identificar questões ambientais relacionadas à agroindústria, no entanto, praticamente todos os indicadores propostos no método Vulneragri original são adequados para representar as características ambientais globais das bacias estudadas, de forma que somente alguns indicadores não foram utilizados ou foram readequados (Tabela 1).

Dos indicadores utilizados para descrever a exposição da bacia, não utilizamos 'atividade industrial' pelo fato de esta não ter expressividade nas bacias estudadas. Quanto aos indicadores da sensibilidade do meio, não foram utilizados 'intensidade pluviométrica' e 'aptidão agrícola' devido a dificuldades para obter as informações. Sobre os indicadores relativos à capacidade de

resposta, o indicador 'áreas em unidades de conservação' não foi usado, pois seria anulado em todas as bacias estudadas, uma vez que nenhuma delas apresenta unidade de conservação. Desta forma, foi empregado um conjunto de 12 indicadores distribuídos em três critérios de avaliação: exposição, sensibilidade do meio e capacidade de resposta.

**Tabela 1: Indicadores do método Vulneragri e indicadores utilizados por critério.**

CRITÉRIOS	INDICADORES ORIGINAIS DO MÉTODO	INDICADORES UTILIZADOS
<b>Exposição</b>	Atividade agropecuária	Atividade agropecuária
	Atividade industrial	-
	Geração de esgoto per capita	Geração de esgoto per capita
	Geração de lixo per capita	Geração de resíduos per capita
	Demanda hídrica per capita	Demanda hídrica per capita
<b>Sensibilidade do meio</b>	Áreas prioritárias para conservação	Área com vegetação nativa
	Intensidade pluviométrica	-
	Qualidade da água	Qualidade da água
	Aridez do clima	Aridez do clima
	Aptidão Agrícola	-
<b>Capacidade de resposta</b>	Áreas em unidades de conservação	-
	Acesso à água tratada	Acesso à rede de abastecimento de água
	Acesso à coleta e ao destino adequado do lixo	Acesso à coleta dos resíduos
	Acesso a esgotamento sanitário	Acesso a esgotamento sanitário
	Disponibilidade hídrica per capita	Disponibilidade hídrica per capita
	IDH-M	IDH-M

Fonte: Adaptada de Figueirêdo *et al.* (2010).

A Tabela 2 sintetiza as informações sobre os indicadores utilizados, mostrando como foram calculados os dados utilizados e as respectivas fontes. Como os indicadores representam unidades de medida diferentes, estes foram padronizados pelo método do mínimo-máximo, considerando se o indicador era diretamente proporcional à vulnerabilidade, o que significa que quanto maior seu valor, maior a vulnerabilidade da bacia (Equação 2), como, por exemplo, os indicadores do critério exposição; ou se este era inversamente proporcional à vulnerabilidade, no sentido de que quanto menor o seu valor, maior a vulnerabilidade da bacia, por exemplo, os indicadores do critério capacidade de resposta (Equação 3).

$$\text{Valor}_{i,j} = \frac{\text{Indicador}_{j,i} - \text{Valor}_{\min}}{\text{Valor}_{\max} - \text{Valor}_{\min}} \quad (2)$$

$$\text{Valor}_{i,j} = \frac{\text{Valor}_{\max} - \text{Indicador}_{i,j}}{\text{Valor}_{\max} - \text{Valor}_{\min}} \quad (3)$$

onde:

Indicador<sub>i,j</sub> = valor original assumido por um indicador *i* no município *j*

Valor<sub>max</sub> = valor máximo do indicador *i*

Valor<sub>min</sub> = valor mínimo do indicador *i*

Valor<sub>i,j</sub> = valor normalizado do indicador *i* no município *j*

Com relação aos valores máximos e mínimos descritos nas equações 2 e 3, para todos os indicadores expressos em porcentagens (atividade agropecuária, atividade industrial, área com vegetação nativa, acesso à rede de abastecimento de água, acesso à coleta dos resíduos e acesso a esgotamento sanitário), foram considerados na

normatização valores mínimos de 0% e máximos de 100%.

**Tabela 2: Informações utilizadas para a composição dos indicadores.**

INDICADOR	DADO UTILIZADO	FONTE DO DADO	CÁLCULO DO INDICADOR
<b>Atividade agropecuária</b>	Área agrícola (Ag) = áreas de lavouras, pastagens e sistemas agroflorestais. Área do município (Am)	Censo Agropecuário do IBGE (2006) Censo Demográfico do IBGE (2010)	$\frac{Ag}{Am} \times 100$
<b>Atividade industrial</b>	Número de pessoas ocupadas na indústria (Ni) População do município (Pmu)	Censo Demográfico do IBGE (2010)	$\frac{Ni}{Pmu} \times 100$
<b>Geração de esgoto per capita</b>	Volume coletado (Vc) População atendida (Pae)	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2014)	$\frac{Vc}{Pae}$
<b>Geração de resíduos per capita</b>	Resíduos coletados (Rc) População atendida (Par)	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Norte - SEMARH (2015)	$\frac{Rc}{Par}$
<b>Demanda hídrica per capita</b>	Demanda hídrica humana, animal e industrial do município (Dh) População do município (Pmu)	Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (2012)	$\frac{Dh}{Pmu}$
<b>Área com vegetação nativa</b>	Área com vegetação nativa (Avn) = áreas de matas e florestas Área do município (Am)	Censo Agropecuário do IBGE (2006) Censo Demográfico do IBGE (2010)	$\frac{Avn}{Am} \times 100$
<b>Qualidade da água</b>	Índice de Estado Trófico (IET)	Programa Água Azul (2015)	IET
<b>Aridez do clima</b>	Precipitação média anual (P) Evapotranspiração (ETP)	EMPARN (2016) FAO (2001)	$\frac{P}{ETP}$
<b>Acesso à rede de abastecimento de água</b>	População com acesso à água tratada (Paa) População do município (Pm)	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2014) Estimativa da população - IBGE (2014)	$\frac{Paa}{Pm} \times 100$
<b>Acesso à coleta dos resíduos</b>	População atendida (Par) População do município (Pm)	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Norte - SEMARH (2015) Estimativa da população - IBGE (2014)	$\frac{Par}{Pm} \times 100$
<b>Acesso a esgotamento sanitário</b>	População atendida (Pae) População do município (Pm)	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2014) Estimativa da população - IBGE (2014)	$\frac{Pae}{Pm} \times 100$
<b>Disponibilidade hídrica per capita</b>	Vazão regularizada com 90% de garantia (Q) População da bacia (Pb)	Plano Estadual de Recursos Hídricos (1998) Censo demográfico do IBGE (2010)	$\frac{Q}{Pb}$
<b>IDH-M</b>	-	Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (Atlas Brasil, 2013)	IDH-M

Fonte: Produção dos próprios autores com base na metodologia de Figueirêdo *et al.*(2010).



Já para a geração de esgoto per capita, geração de resíduos per capita, demanda hídrica per capita e aridez do clima, os máximos e mínimos foram obtidos por meio do cálculo desses indicadores para todos os municípios do Rio Grande do Norte com dados disponíveis, para que assim fosse possível montar uma escala e verificar os maiores e menores valores observados. Dessa forma, obteve-se os valores de 4 m<sup>3</sup>/hab.ano e 103 m<sup>3</sup>/hab.ano para a geração de esgoto per capita, 0,4 kg/hab.dia e 2,37 kg/hab.dia para a geração de resíduos per capita, 52,05 m<sup>3</sup>/hab.ano e 129,28 m<sup>3</sup>/hab.ano para a demanda hídrica per capita e 0,2 e 0,97 para a aridez do clima.

Como indicador para representar a qualidade da água, foi utilizado o Índice de Estado Trófico (IET), considerando o valor máximo de 74 (Hipereutrófico) e o mínimo de 0 (PROGRAMA ÁGUA AZUL, 2015). E para o indicador de disponibilidade hídrica per capita, considerou-se 0 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> como valor mínimo e 5.000 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> como valor máximo, levando-se em conta como máximo o referencial indicado pela Organização das Nações Unidas e para regiões julgadas ricas em termos de disponibilidade hídrica de 5 mil m<sup>3</sup>/habitante/ano (SUASSUNA, 2004).

Por fim, como cada bacia localiza-se em

diferentes municípios, e estes não necessariamente apresentam toda sua área inserida dentro da delimitação da bacia, os indicadores com informações municipais foram ponderados pela área de acordo com a equação 5:

$$\text{Indicador}_i = \sum_{j=1}^n \text{Valor}_{i,j} * \text{peso}_j \quad (4)$$

onde:

Valor<sub>i,j</sub> = valor normalizado do indicador *i* no município *j*

Peso<sub>j</sub> = percentual ocupado pela área do município *j* na bacia

Indicador<sub>i</sub> = valor final do indicador *i* na bacia

Vale destacar que, nessa obtenção do indicador, foram considerados somente os municípios que apresentavam mais de 1% da sua área inserida na bacia, uma vez que áreas muito pequenas não trariam resultados significativos para a composição do índice.

Com a normatização, os valores dos indicadores, dos critérios e dos Índices de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) variam de 0 a 1, representando os níveis de vulnerabilidade ambiental e permitindo a avaliação da condição ambiental do sistema em estudo (Tabela 3).

**Tabela 3: Escala de valores de acordo com o nível de vulnerabilidade.**

VULNERABILIDADE	VALOR DO IVA
MUITO BAIXA	0 - 0,2
BAIXA	0,2 - 0,4
MÉDIA	0,4 - 0,6
ALTA	0,6 - 0,8
MUITO ALTA	0,8 - 1

Fonte: Adaptada de Figueirêdo *et al.*, 2010.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bacias estudadas apresentaram Índice de Vulnerabilidade Ambiental entre 0,52 e 0,61 (Tabela 4), sendo consideradas como de vulnerabilidade ambiental média e alta, respectivamente. A bacia de Campo Grande foi a que obteve o maior valor de vulnerabilidade, seguida da bacia de Pau dos Ferros. Mesmo havendo mudanças de categoria, os valores de IVA são bastante próximos, mostrando que toda a região apresenta vulnerabilidades ambientais semelhantes, o que é compatível com as realidades ambientais vivenciadas pelas bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Norte.

Portanto, a localização geográfica e o tamanho das bacias não influenciaram na vulnerabilidade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Figueirêdo *et al.* (2010) para bacias hidrográficas do semiárido dos Estados do Ceará e de Alagoas, as quais também apresentaram vulnerabilidade ambiental média e comportamento dos indicadores parecidos com os obtidos neste estudo.

O comportamento dos critérios foi semelhante para todas as bacias (Figura 2), uma vez que os critérios de sensibilidade do meio e capacidade de resposta foram os mais vulneráveis, e o critério de exposição o menos vulnerável.

De maneira geral, a sensibilidade do meio foi a mais vulnerável para todas as bacias. A alta vulnerabilidade desse critério é coerente com a realidade local, pois tais bacias localizam-se em uma região com características ambientais naturais de fragilidade, como clima semiárido,

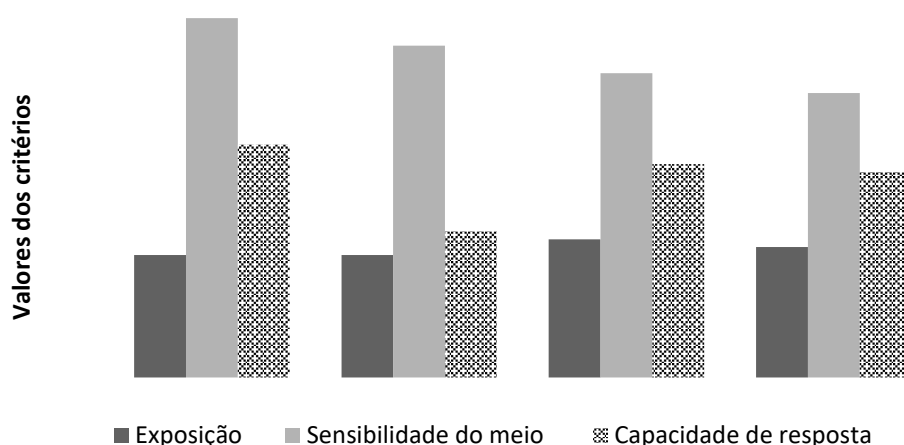
grande frequência de ocorrência de eventos críticos (secas e cheias) e solos rasos. Outros estudos também verificaram a grande influência da sensibilidade do meio como indicador de vulnerabilidade ambiental (PEDROZA, 2008; MILANEZI; PEREIRA, 2016).

**Tabela 4: Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) por bacia.**

BACIA	IVA	VULNERABILIDADE
Campo Grande	0,61	Alta
Cruzeta	0,51	Média
Pau dos Ferros	0,56	Média
Umari	0,52	Média

Fonte: Produção dos próprios autores.

**Figura 2: Valores dos critérios por bacia.**



Fonte: Produção dos próprios autores.

Considerando os indicadores do critério sensibilidade do meio (Figura 3), observa-se que, em praticamente todas as bacias, a aridez do clima, característica intrínseca do semiárido, foi o indicador que mais influenciou no resultado, com vulnerabilidade muito alta em todas as bacias, com exceção da bacia Pau dos Ferros, na qual o indicador que mais influenciou foi qualidade da água; isto porque esta bacia apresenta uma média de precipitação anual superior às demais bacias estudadas, fazendo com que o indicador aridez do clima intervesse menos.

Também merece destaque o indicador de qualidade da água que obteve valores de IET de

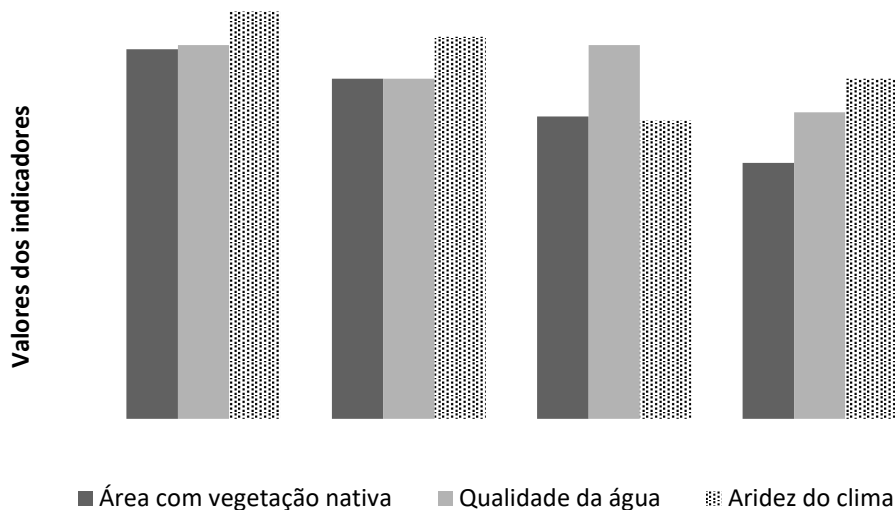
vulnerabilidade alta a muito alta, sendo condizentes com os estados tróficos dos reservatórios do semiárido, os quais, pela classificação do índice, variaram de mesotrófico a supereutrófico (PROGRAMA ÁGUA AZUL, 2015).

Quanto à área com vegetação nativa, de modo geral, as bacias encontram-se bastante desmatadas, com somente 21,04%, em média, de suas áreas com vegetação nativa, sendo que, dentre elas, a do açude Campo Grande é a que possui maior porcentagem de desmatamento, apresentando somente 10,76%, em média, de área com vegetação nativa. Já a bacia do reservatório Pau dos Ferros tem a maior

porcentagem de área com vegetação nativa (26,86%). Pires (2015) obteve resultado semelhante trabalhando em bacias hidrográficas

do litoral sul da Paraíba. Nesse estudo, o autor observou que a cobertura florestal das bacias apresentou vulnerabilidade muito alta.

**Figura 3 – Valores dos indicadores do critério de sensibilidade do meio.**



Fonte: Produção dos próprios autores.

Já no que diz respeito ao critério exposição, este foi o critério de menor vulnerabilidade, influenciado, principalmente, pela baixa geração de esgoto e de resíduos (Figura 4).

É interessante observar que, nesse critério, os indicadores que apresentaram maior vulnerabilidade foram a demanda hídrica per capita, com o maior valor para a bacia de Umari, e a atividade agropecuária, com maior valor para a bacia de Pau dos Ferros. Isto é condizente com a realidade local, onde a bacia de contribuição do açude Cruzeta apresenta maior atividade agropecuária em comparação com a bacia de Pau dos Ferros. Milanezi e Pereira (2016), avaliando a vulnerabilidade ambiental da microbacia do Córrego Azul, no Estado do Mato Grosso do Sul, região ambientalmente diversa do semiárido, também verificaram que a atividade agropecuária apresentou vulnerabilidade média.

Em relação ao critério de capacidade de resposta, os indicadores que apresentaram piores resultados foram a disponibilidade hídrica per capita (coerente com o fato do clima da região proporcionar períodos prolongados de seca) e o acesso a esgotamento sanitário (que mostrou baixas porcentagens de atendimento à

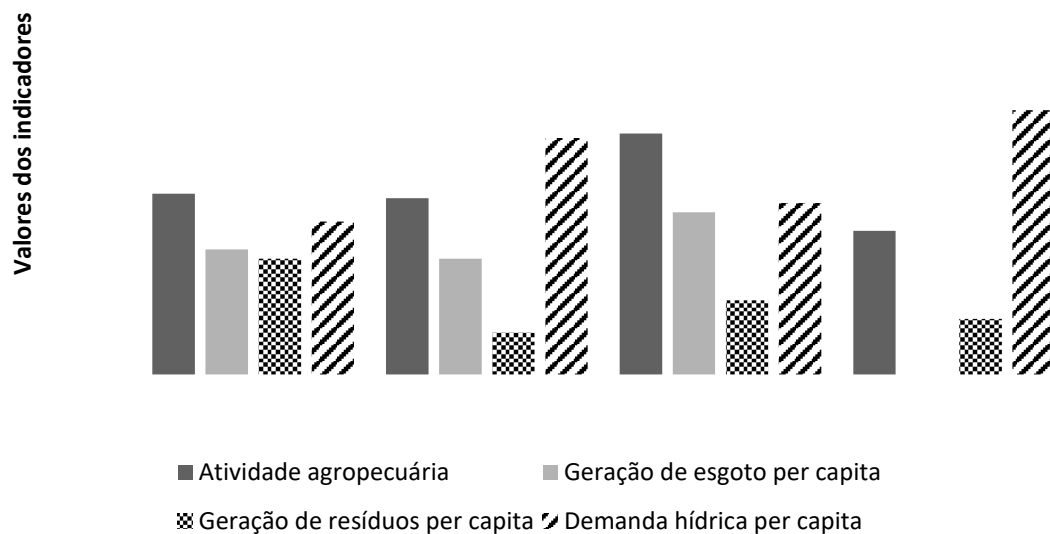
população). Vale salientar que estes indicadores foram os que obtiveram piores resultados entre todos os indicadores estudados dos três critérios (Figura 5).

A disponibilidade hídrica per capita das bacias estudadas variou de 168,15 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para a bacia do açude Campo Grande, a 1.490,30 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para a bacia do açude Umari. Este nível de disponibilidade hídrica, segundo a Organização das Nações Unidas, é considerado como crítico, o que repercutiu em elevado valor de vulnerabilidade para o referido indicador.

O acesso a esgotamento sanitário também apresentou vulnerabilidade elevada. A bacia do açude Cruzeta obteve menor vulnerabilidade nesse indicador, mesmo com a porcentagem de atendimento à população de apenas 45,42%. Isto porque, mesmo sendo um percentual de atendimento baixo, o mesmo é superior à maioria dos municípios do estado, os quais não apresentam, praticamente, qualquer sistema de esgotamento sanitário. A bacia de Umari foi a de maior vulnerabilidade (0% de atendimento), visto que todos os municípios que a compõem não possuem sistemas de esgotamento sanitário.

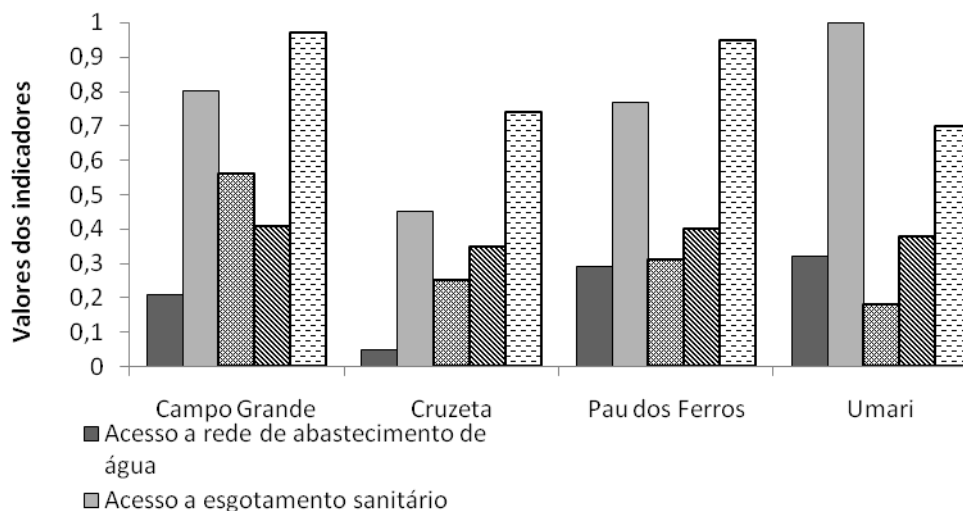


**Figura 4: Valores dos indicadores do critério exposição.**



Fonte: Produção dos próprios autores.

**Figura 5: Valores dos indicadores do critério capacidade de resposta.**



Fonte: Produção dos próprios autores

De maneira geral, a bacia do açude Cruzeta foi a que apresentou maior capacidade de resposta, com todos os indicadores estudados, mostrando menores valores de vulnerabilidade em relação às outras, o que é coerente com o fato de essa bacia estar localizada na região Seridó, conhecida pela sua elevada organização social, se comparada com as demais.

Assim como no critério de sensibilidade do meio, a bacia de pior resultado (menor capacidade de resposta) foi a do açude Campo Grande, porém com valor de vulnerabilidade ambiental muito próximo ao das outras duas bacias estudadas: Umari e Pau dos Ferros.

Era de se esperar que houvesse uma convergência dos resultados dos indicadores

geração de esgoto per capita, acesso a esgotamento sanitário e qualidade da água, pois o pouco acesso à rede de esgoto, provavelmente, ocasiona uma alteração da qualidade da água dos corpos hídricos. No entanto, esta convergência foi relativamente fraca. Por exemplo, a bacia do reservatório Cruzeta apresenta maior porcentagem de esgotamento sanitário (45% em média) quando comparada com a bacia de contribuição do açude Pau dos Ferros que, em média, tem somente 11% da população com acesso a esgotamento sanitário. Porém, a influência na vulnerabilidade da qualidade da água foi pequena, já que passou de 0,89 em Pau dos Ferros para 0,81 em Cruzeta, o que é explicado devido à carga poluidora que aflui para um corpo hídrico não ser originária somente do esgotamento sanitário. Por exemplo, segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu, a maior parte da carga poluidora de seus reservatórios são oriundos da atividade pecuária (ANA, 2014)

Dessa forma, observa-se que as regiões estudadas apresentam uma elevada sensibilidade, por suas características naturais, que as tornam mais suscetíveis à degradação ambiental. Possuem, também, uma baixa capacidade de resposta, mostrando que a sociedade ainda não está suficientemente bem estruturada em termos de serviços para conseguir minimizar os efeitos das pressões exercidas sobre o meio. Assim, a vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas do semiárido só não é maior devido a uma baixa exposição, já que as atividades econômicas ainda não são muito desenvolvidas nesses lugares.

### CONCLUSÕES

A avaliação da vulnerabilidade ambiental, com metodologia baseada no método Vulneragri, mostrou-se eficiente para identificar, entre os indicadores utilizados, os que apresentam maiores fragilidades. Possibilita, ainda, a comparação entre as bacias hidrográficas estudadas, podendo ser utilizada como ferramenta para identificar fatores ambientais críticos e, assim, auxiliar no planejamento de medidas de gestão ambiental mais apropriadas ao meio local.

Neste estudo, verificou-se que todas as bacias estudadas apresentaram média vulnerabilidade ambiental, com exceção da bacia de contribuição do açude Campo Grande, que possui alta vulnerabilidade. Isto mostrou que a diferença de localização geográfica dentro da

região semiárida e o tamanho das bacias hidrográficas não acarretaram em diferenças significativas no resultado do Índice de Vulnerabilidade Ambiental.

Os critérios de sensibilidade do meio e de capacidade de resposta foram os mais vulneráveis, e o critério menos vulnerável foi o de exposição. A bacia de maior sensibilidade e menor capacidade de resposta foi a do reservatório Campo Grande, e a de maior capacidade de resposta, a do açude Cruzeta.

Em relação aos indicadores, os resultados também foram semelhantes para as bacias, sendo, em geral, os indicadores de disponibilidade hídrica per capita, acesso a esgotamento sanitário, aridez do clima e área com vegetação nativa os mais vulneráveis.

Observa-se que, dentre os quatro indicadores de maior vulnerabilidade ambiental para o semiárido, três deles (acesso a esgotamento sanitário, disponibilidade hídrica per capita e área com vegetação nativa) estão associados a atividades antrópicas. Como no semiárido a rede hidrográfica é intermitente, a disponibilidade hídrica está intimamente relacionada com a construção de reservatórios, ou seja, com a atividade antrópica. Dessa forma, se houvessem investimentos para melhorar esses serviços e organizar a sociedade, a vulnerabilidade ambiental do semiárido poderia ser menor.

### REFERÊNCIAS

ADGER, W.N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268-281, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piranhas-Açu**. ANA, 2014.

ATLAS BRASIL. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/>>. Acesso em: 30 set. 2016.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 02 out. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 02 out. 2016.

CHEN, L.; YANG, X.; CHEN, L.; POTTER, R.; LI, Y. A state-impact-state methodology for assessing environmental impact in land use planning. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 46, p. 1-12, abr. 2014.

CRUZ, J. C.; NUMMER, A.V.; ELTZ, F. L. F.; SILVA, J. L. S. da; ARAUJO, T. A. Avaliação ambiental integrada: construção metodológica de modelo para bloco do meio físico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.1, p. 223-233, jan./mar. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. **Médias históricas dos municípios do RN.** 2016. Disponível em: <[http://189.124.201.150/climaRN/medias\\_historicas\\_municipios\\_RN.htm](http://189.124.201.150/climaRN/medias_historicas_municipios_RN.htm)>. Acesso em: 01 out. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Sustainable Development Department (Sd).** Agrometeorology Series Working Paper 11 FAOCLIM 1.2 user's manual plus CD-ROM of world-wide agroclimatic data; 72 pages plus 1 CD-ROM). 2001. Disponível em: <[http://www.fao.org/sd/2001/EN1102\\_en.htm](http://www.fao.org/sd/2001/EN1102_en.htm)>. Acesso em: 29 set. 2016.

FIGUEIRÊDO, M.C.B.; VIEIRA, V. de P.P.B.; MOTA, S.; ROSA, M. de F.; MIRANDA, S. **Análise da vulnerabilidade ambiental.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.

FREIRE, F.H.M. de A.; CLEMENTINO, M. do L.M. **O Rio Grande do Norte e sua região metropolitana no Censo de 2010.** Natal, 2011. Disponível em: <[http://web.observatoriodasmetropoles.net/download/Censo2010\\_Natal\\_RN.pdf](http://web.observatoriodasmetropoles.net/download/Censo2010_Natal_RN.pdf)>. Acesso em: 17 mai. 2016.

HUGHEY, K.F.D.; CULLEN, R.; KERR, G.N.; COOK, A.J. Application of the pressure–state–response framework to perceptions reporting of the

state of the New Zealand environment. **Journal of Environmental Management**, v. 70, p. 85-93, jan. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário.** 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico.** 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Estimativas da população residentes no Brasil e Unidades da Federação.** 2014. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2014/estimativas\\_2014\\_TCU.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2014/estimativas_2014_TCU.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2016.

METZGER, M.J.; ROUNSEVELL, M.D.A.; ACOSTA-MICHLIK, L.; LEEMANS, R.; SCHOTER, D. The vulnerability of ecosystems services to land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 1, p. 69-85, mai. 2006.

MILANEZI, C.H. da S.; PEREIRA, J.G. Caracterização da vulnerabilidade ambiental na microbacia do Córrego Azul, Ivinhema – MS. **Geografia**, Londrina, v.25, n. 1, p. 43-63, jan./jun. 2016.

PEDROSA, E.C.T. **Análise de vulnerabilidade ambiental de bacias periurbanas e a proteção de reservatórios utilizados em sistemas públicos de abastecimento de água:** estudo de caso da bacia do rio Gramame/PB. 2008. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/5500/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2017.

PIRES, A. L. **Análise da vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas no litoral sul paraibano.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/7697/2/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

PROGRAMA ÁGUA AZUL. **1º Relatório trimestral.** Natal, 2015. Disponível em: <

[http://programaaguaazul.rn.gov.br/relatorios/aguas\\_superficiais/](http://programaaguaazul.rn.gov.br/relatorios/aguas_superficiais/). Acesso em: 02 out. 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE RECURSOS HÍDRICOS – SERHID. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Relatório síntese. Natal, 1998. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/DOC/DOC00000000150878.PDF>>. Acesso em: 01 out. 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO NORTE – SEMARH. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Norte**. Natal, 2015. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/semarh/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=152889&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Programas>>. Acesso em: 01 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Ficha técnica dos reservatórios**. 2016. Disponível em: <<http://servicos.semarh.rn.gov.br/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBacia.asp>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

\_\_\_\_\_. **Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte – PERH/RN**. 2012. SEMARH.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série histórica** – 2014. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 25 set. 2016.

SHAO, H.; SUN, X.; WANG, H.; ZHANG, X.; XIANG, Z.; TAN, R.; CHEN, X.; XIAN, W.; QI, J. A method to the impact assessment of the returning grazing land to grassland project on regional eco-environmental vulnerability. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 155-167, jan. 2016.

SUASSUNA, J. O gerenciamento da água no Nordeste. 2004. Disponível em: <<http://reporterbrasil.org.br/2004/05/b-artigo-b-o-gerenciamento-da-agua-no-nordeste/>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

TIXIER, J.; DANDRIEUX, A.; DUSSERE, G.; BUBBICO, R.; MAZAROTTA, B.; SILVETTI, B.; HUBERT, E.; RODRIGUES, N.; SALVI, O. Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, n. 3, p. 251-264, mar. 2006.

TRAN, L. T.; KNIGHT, C. G.; O'NEILL R.; SMITH, E. R.; RIITTERS, K. H.; WICKHAM, J. Environmental assessment: fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the mid-Atlantic region. **Environmental Management**, v. 29, n. 6, p. 845-859, 2002.

TURNER, B. L.; KASPERSON, R. E.; MATSON, P. A.; MCCARTHY, J. J.; CORELL, R. W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J. X.; LUERS, A.; MARTELLO, M. L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences US (PNAS)**, v. 100, p. 8074-8079, jul. 2003.

VAEZA, R.F.; OLIVEIRA FILHO, P. C. de.; MAIA, A.G.; DISPERATI, A.A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, n. 17, p. 23-29, jan./jun. 2010.

VILLA, F.; McLEOD, H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. **Environmental management**, v. 29, n. 3, p. 335-348, mar. 2002.