



# Índice de vulnerabilidade da microbacia do rio Praiquara, médio Apéu, Amazônia oriental

## Vulnerability index of watershed Praiquara, middle Apeu, eastern Amazon River

Valéria P. B. HOMCI [1](#), Francisco de A. OLIVEIRA [2](#), Pedro S. da S. CAMPOS [3](#), Marco A. HOMCI [4](#), Vanda M. S. de ANDRADE [5](#), Osmar G. SILVA JÚNIOR [6](#), Nelson V. GONÇALVES [7](#), Luis H. R. GUIMARÃES [8](#) e Bruno S. CARNEIRO [9](#).

Recibido: 20/09/16 • Aprobado: 12/10/2016

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
- [2. Material e Métodos](#)
- [3. Resultados e Discussão](#)
- [4. Conclusões](#)
- [Agradecimentos](#)
- [Referências](#)

#### RESUMO:

A interferência humana nos recursos naturais associado com a ausência de infraestrutura, educação altruísta e ações do poder público afetam a saúde e o índice de vulnerabilidade do rio Praiquara. Foram coletados dados de órgãos públicos, de 73 domicílios e 180 amostras de águas superficiais. Análises de componentes principais, produto interno euclidiano ponderado e interpolação Kriging (mapa) contribuíram para estes resultados. A vulnerabilidade da microbacia é alta no alto curso, e moderada nos médio e baixo curso do rio. As componentes de maior participação foram integridade ecossistêmica, interferência na vida aquática, esgoto doméstico e industrial e elementos climáticos e microclima.

**Palavras-chave:** ocupação humana, ecossistemas, componentes principais.

#### ABSTRACT:

The human interference in the natural resources associated with the lack of infrastructure, altruistic education and selfless actions of government affect health and vulnerability index Praiquara river. Data were collected from public agencies, 73 households and 180 surface water samples. Principal component analyzes weighted Euclidean inner product and Kriging interpolation (map) contributed to these results. The vulnerability of the watershed is high in the upper course of the river, and moderate in the middle and lower course of the river. The components of greater participation were ecosystem integrity, interference with aquatic life, domestic and industrial sewage and climate and microclimate elements.

**Keywords:** human occupation, ecosystems, main components

## 1. Introdução

A vulnerabilidade é uma ferramenta, para descrever as interferências antrópicas ocasionadas pela expansão populacional (Goudie, 2013; Costa et al., 2012; Cohen, 1995), atividade produtiva não sustentável e mau uso do solo (Figueiredo et al., 2013; Primavesi, 2006; Pimenta et al., 2009; Neill

et al., 2006), segurança alimentar e saúde humana (Sachs, 2012; Moore et al., 2003; Moraes e Jordão, 2002), além do despejo de efluentes, da marginalização dos recursos naturais e sociais (Sonwa, 2012; Cross et al., 2009; Srinivasan et al., 2013; Lossardo e Lorandi, 2010; Costa, et. al., 2012), ocasionando a contaminação das águas subterrâneas e superficiais (Araújo et al., 2011; Oliveira e Cunha, 2014; Rocha et al., 2006) e, conseqüentemente, o desequilíbrio na ictiofauna (Corrêa, et al., 2012; Pavanelli, 2008). Com o poder de resiliência comprometido, o sistema é incapaz de manter sua estrutura e funcionalidade diante de qualquer processo perturbador (Odum, 2011), como observado nos rios da Amazônia (Figueiredo et al., 2010).

Áreas sensíveis às ações poluidoras podem ser subdivididas em áreas naturalmente vulneráveis, áreas em zonas protegidas e áreas potencialmente com problemas (uso do solo) - vulnerabilidade intrínseca ou específica - esta última quando exposta a contaminações específicas (Gogu e Dassagues, 2000) como a contaminação por efluentes domésticos e industriais. A vulnerabilidade é a sensibilidade a qual um sistema está exposto (estresse) e sua capacidade de adaptação, resiliência, diante desta exposição (Adger, 2006). A ausência de monitoramento e investimento em tecnologias (Vörösmarty et al., 2010), planejamento urbano e sanitário sustentáveis vem contribuindo para a expansão da desordem de origem antropogênica, como observado no rio Praquiquara, inclusive.

A modelagem estatística hoje desenvolvida na ecologia de ecossistemas tem uma abordagem holística, no contexto sistêmico (Odum e Barrett, 2011), como no estudo da quantificação da vulnerabilidade da água (Sullivan, 2011), agregando novas variáveis, utilizando índices simples, compostos ou ponderados mensurando a pobreza/riqueza de água em qualquer região, principalmente quando se tem diversidade de variáveis importantes em cada região hidrográfica.

Sullivan et al. (2006), identificou que quanto maior o índice de riqueza (alimentação, meio ambiente, saúde, capacidade, produtividade e base natural (intrínseca)), menor as ameaças na bacia hidrográfica, como observado no sudeste asiático, baixo Mekong. O índice composto de vulnerabilidade, por Sullivan (2011) agregou serviço e demanda de água pelos usuários. Entre os 87 municípios estudados, os mais vulneráveis eram próximos ao rio Orange - Westonaria (90,6%) e City JHB (97,9%) - Sul da África, por necessitarem de mais investimentos ao serviço prestado do que a demanda do usuário.

Srinivasan et al. (2013), identificou que o crescimento de áreas urbanizadas é muito maior que o crescimento populacional, e que na projeção de 2003/2023 o índice de vulnerabilidade será muito maior em águas de áreas urbanizadas (99%) do que nas periferias da cidade (67%) e este crescimento dependerá das contribuições geológicas, do modelo de urbanização espacial e da adaptação do homem do campo, considerando que a cobertura de 2/3 de uma bacia hidrográfica resulta na vulnerabilidade por impactos de múltiplos estressores (demográficos, climáticos e uso do solo) em diferentes espaços e escala de tempo.

A dependência no espaço (estações de coleta) e no tempo (com a variação sazonal pluviométrica nos períodos de coleta) é uma limitação encontrada quando se trata de águas resultantes de misturas (Hooper, 2003), naturalmente em função da corredeira/fluxo do rio. O uso de análise de componentes principais (PCA) (Mingoti, 2005; Andrade et al., 2007) é indicado para construção de índices, via resultante das componentes ortogonais (Anton, 2007; Queiroz, 1995), para dados desta natureza e pela facilidade de agregar informações de escalas diferenciadas.

Diante de inúmeros questionamentos, e vivenciando a problemática local, tem-se que: no rio Praquiquara, qual a componente que mais interfere na saúde deste ecossistema, e em qual curso do rio? Qual o índice de vulnerabilidade resultante em cada curso por período de chuva? Quanto a componente que mais interfere neste ecossistema e o índice de vulnerabilidade, acredita-se que são a "Saúde Humana" (alto curso do rio; índice moderado), a "Integridade Ecosistêmica" (médio curso do rio; índice alto) e a "Atividade Produtiva" (baixo curso do rio; índice baixo) e que no período considerado chuvoso, os índices de vulnerabilidade são elevados.

O Objetivo principal teste trabalho é identificar qual a componente que mais interfere na saúde deste ecossistema por curso do rio, qual o índice de vulnerabilidade resultante em cada curso e em que variabilidade sazonal pluviométrica o rio é mais vulnerável.

---

## 2. Material e Métodos

## 2.1 Área de Estudo

A microbacia do rio Praquiara ( $1^{\circ}17'54''S$ ,  $47^{\circ}56'56''W$ ), localiza-se na região do planalto costeiro do Atlântico, a 4 km da BR-316, em Castanhal (PA), afluente da margem esquerda da bacia hidrográfica do rio Apeú, com 712 ha de área e 7,3 km de extensão. Segundo Veronez (2011) a área em estudo é ocupada com 49% de pastagens, 23% de floresta, 15% de urbanização, 11% de agricultura e 2% de água. De baixa densidade de drenagem (Jesuino, 2010; Souza, 2010), 1,26 km/km<sup>2</sup> e tendência elíptica ( $K_f = 0,1336$ ), a área não é sujeita a enchentes por ter menor tempo de concentração do escoamento superficial ( $K_f < 0,5$ ); uma hierarquia fluvial de 2ª ordem com alto potencial de vulnerabilidade, considerando a captação de todas as alterações provenientes do solo, da rede pública de esgoto, dos eventos climáticos, e seu processo de drenagem e declividade (Strahler, 2013).

A geologia no nordeste paraense é dominada por arenitos da formação Barreiras e a geomorfologia, constitui-se de superfície descontínua, de relevo erosivo (Rossetti, 2006), suave ondulado. As unidades de solos dominantes são Latossolo Amarelo- distrófico concrecionário (LAd), Argissolo Amarelo-distrófico concrecionário (PAd), e Gleissolo Háplico distrófico (GXa) (Valente et al., 2001).

O clima da região de Castanhal, região Nordeste do Pará, foi considerada de acordo com classificação de Köppen, como Afi, clima tropical chuvoso sem estação seca, isotérmico de temperaturas iguais (Álvares et al., 2014), onde a mesma apresentou média anual dentro do período de estudo de 26,6° C e precipitação total de 1.133,3 mm.

região de extremo contraste socioeconômico onde, por um lado se observou grandes fazendas e residências e, por outro, a baixa renda, o desemprego, o tráfico de entorpecentes, a carência de acesso à saúde e educação, o emprego informal, a catação de lixo e desemprego.

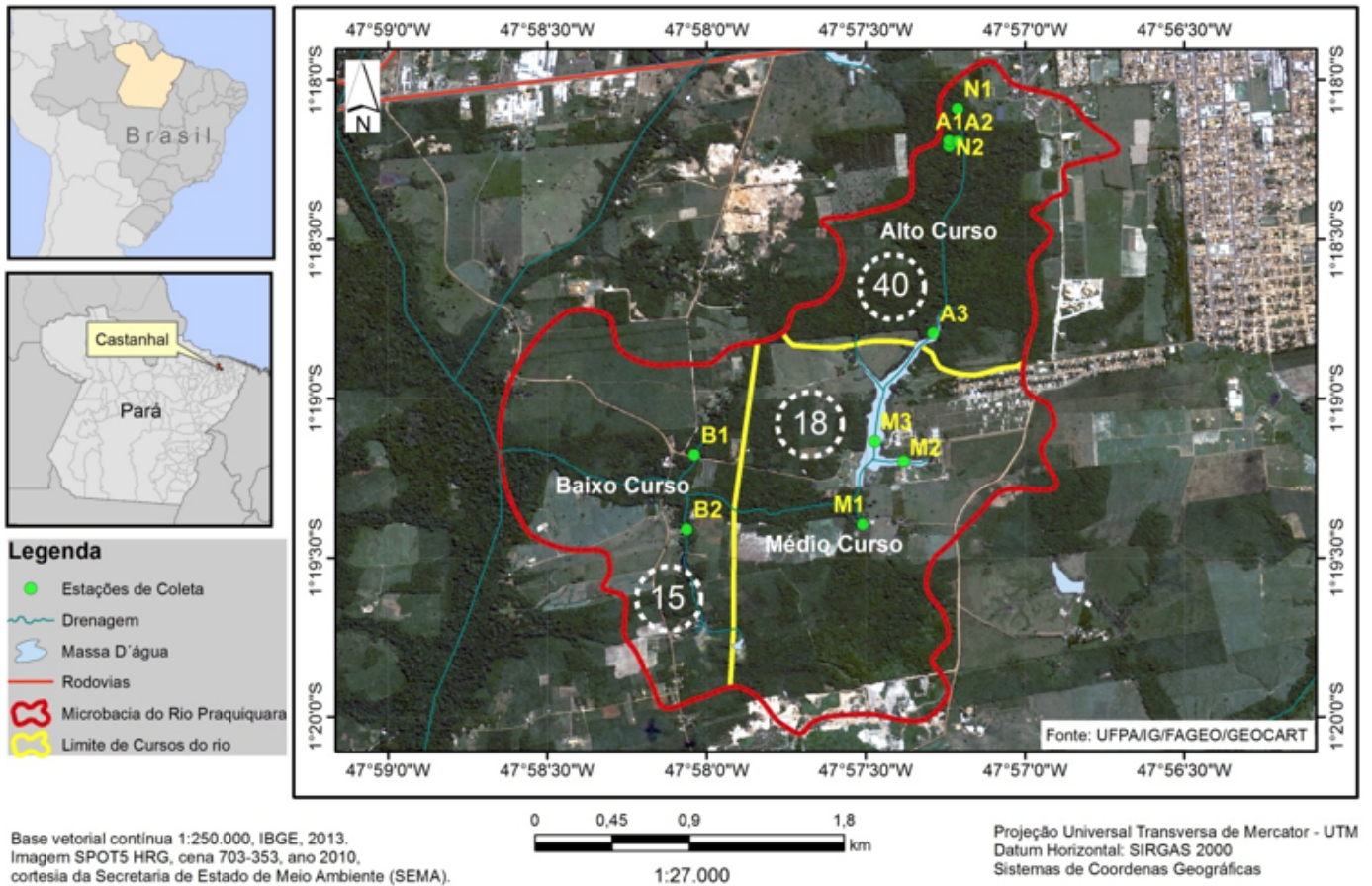
## 2.2 Procedimentos de Campo

Os procedimentos de campo proporcionaram uma visão espacial das ameaças humanas à segurança hídrica e a biodiversidade local (Vörösmarty, C.J et al., 2010) e as coletas de dados meteorológicos (INMET / 2013), censitários e aquáticos.

O censo realizou o levantamento do perfil socioeconômico, da segurança alimentar, saúde humana, atividades e integridade ecossistêmica, utilizando a técnica de abordagem SnowBall Sampling (Goodman, 1961) e ferramentas da estatística descritiva e probabilidade (Bussab, 2003; Walpole et al., 2009), para a análise dos dados.

## 2.3 Procedimentos de Laboratório

As 180 amostras de água foram coletadas em 10 estações, localizadas nas nascentes (N1 a N2), no alto (A1 a A3), médio (M1 a M3) e baixo (B1 a B2) curso do rio, com 3 repetições cada, em seis coletas de janeiro a dezembro de 2013 (Figura 1) e analisadas pelo IEC que obedeceram aos procedimentos e recomendações descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (Apha, 1998) ou Procedures Manual HACH-Espectrophotometer DR-2800 (Hach, 1994) e no "COLLILERT/QUANTI-TRAY® da IDEXX Laboratories, Inc.", seguindo as recomendações do fabricante e do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Apha, 2005).



**Figura 1.** Distribuição das entrevistas em cada curso do rio. No alto curso, as estações A1, A2 e A3 recebem esgoto e resíduo agrícola. O médio curso, rico em áreas de pastagem e agricultura, recebe escoamento do lixo em M1. No baixo curso as estações B1 e B2 são receptoras das águas provenientes da agropecuária e produção de farinha.

Os mapas foram confeccionados pelo IEC e UFPA com shapes do IBGE e IBAMA . Foram utilizados o BDG com a suíte de aplicativos ArcGIS versão 10.1 (no formato GDB ), a imagem SPOT , cedida pela SEMA (Castanhal (PA)/ano 2011), a imagem LANDSAT (USGS - LANDSAT 8), sensor OLI , órbita 223, ponto 61 (anos 2000; 2005; 2013), bandas 4, 5 e 6 (30 metros) e, também, um PDI de composição de bandas (composite/layer stacking), R6G5B4 (falsa cor).

As cenas SRTM / EMBRAPA (SA-22-X-B; SA-22-X-D; SA-23-V-A; SA-23-V-B), com MDE , enquadraram o município de Castanhal e arredores (90 metros). As geoinformações de estradas e limites municipais, na escala 1:250.000 (IBGE ) e as de drenagens (ANA ) foram de 2013. A divisão do curso do rio teve como referência a geomorfologia estrutural e o perfil topográfico do relevo da microbacia. De posse dos valores do IVA , o método de interpolação Kriging foi realizado no ARC GIS, com krigagem simples, utilizando o vizinho mais próximo – padrão de 8 setores a 45°, para gerar o mapa de vulnerabilidade ao longo dos cursos do rio.

As variáveis ( $Z$ ) foram padronizadas e as  $K$  componentes principais, ortogonais mais relevantes (1), foram selecionadas segundo os critérios de autovalores ( $\hat{\lambda} > 1$ ) (Mingoti, 2005; Hair Jr. et al., 2009).

$$Y_j' = \hat{e}_{j1}Z_1 + \hat{e}_{j2}Z_2 + \dots + \hat{e}_{jk}Z_k, \text{ para } 1 < j < k. \quad (1)$$

$Y_j'$  é a componente principal,  $\hat{e}$  são os autovetores normalizados e  $Z$  são as variáveis padronizadas ( $k$ ) em estudo. A variância de  $Y_j$  é  $\lambda_j$  e a covariância entre  $Y_j$  e  $Y_k$  é igual a zero para qualquer  $j \neq k$ . As variáveis  $Z_j$  com maiores coeficientes são mais correlacionadas com a componente  $Y_j$ .

A resultante das componentes ortogonais, Índice de Vulnerabilidade (IVA), no período menos chuvoso (período seco) (2) e chuvoso (3) foi calculada com base nos escores  $E$  e nos pesos de cada componente, pelo produto interno euclidiano ponderado (Anton, 2007) e varia de 0% a 100%. Se variar de  $65\% < IVA \leq 100\%$  é alta, de  $35\% < IVA \leq 65\%$  é moderada e de  $0\% < IVA \leq 35\%$  é baixa.

$$IVAs\text{seco, curso do rio} = \sqrt{\sum_{i=1}^K W_i * E_{ij}^2}, \text{ para } j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$IVAchuvoso, curso do rio = \sqrt{\sum_{i=1}^K W_i * E_{ij}^2}, \text{ para } j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

onde  $W_i = \lambda_{i\%} / \sum \lambda_{i\%}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ , é a ponderação referente a componente rotacionada,  $\lambda_{i\%}$  é o autovalor ou % da variância explicada da componente rotacionada,  $\sum \lambda_{i\%}$  é a soma do % de variâncias explicadas ou variância acumulada (%) e  $E$  é o escore de cada observação da componente rotacionada pelo critério Varimax,  $k$  é o número de componentes e  $n$  é o total de observações em cada componente.

---

### 3. Resultados e Discussão

A principal componente, que mais contribuiu na vulnerabilidade do **Alto curso** ( $\Sigma\lambda=67,353\%$ ), área mais populosa da microbacia, foi Segurança Alimentar (**Y1**;  $\lambda_1= 14,684\%$ ), onde o uso de agroquímicos ( $r_{xy}=0,794$ ), a dieta ( $r_{xy}=0,724$ ) e a fauna ( $r_{xy}= 0,582$ ) são contribuições positivas desta componente. As demais 5 componentes, Atividade Produtiva (**Y2**;  $\lambda_2= 14,409\%$ ), Integridade Ecosistêmica (**Y3**;  $\lambda_3= 14,374\%$ ), Socioeconômica (**Y4**,  $\lambda_4= 12,694\%$ ) e Saúde Humana (**Y5**,  $\lambda_5= 11,192\%$ ), são complementares. O alto curso é uma região de pequenos quintais verdes e produtivos, com práticas de cultivo (60%) que auxiliam na renda familiar (frutíferas e hortaliças), mas sem qualquer acompanhamento técnico. O acesso aos alimentos (DIETA) foi de 73% dos entrevistados, embora com baixa qualidade pelo uso contínuo de agroquímicos no processo produtivo e a baixa escolaridade (Fundamental I), sendo o maior receptor de bolsa de auxílio financeiro (145 famílias) pelo governo federal, menor renda (1,44 salários mínimos), maior número de trabalhadores autônomos (catadores de lixo e vendas) (38%), além de ser a área de maior cobertura vegetal (aproximadamente 102 ha) e que contém a Unidade de Saúde da Família.

No **Médio curso** ( $\Sigma\lambda=78,719\%$ ) a componente Sócioeconômica e Educativa (**Y1**;  $\lambda_1= 19,140\%$ ) foi a mais importante na contribuição da vulnerabilidade, com correlações positivas para a energia ( $r_{xy}=0,868$ ), produção de ovos ( $r_{xy}=0,774$ ) e renda ( $r_{xy}= 0,626$ ) e negativa para a educação ( $r_{xy}=-0,690$ ). As componentes Saúde Humana (**Y2**;  $\lambda_2= 18,710\%$ ), Integridade Ecosistêmica (**Y3**;  $\lambda_3= 16,293\%$ ), Segurança Alimentar (**Y4**;  $\lambda_4= 12,701\%$ ) e Atividade Produtiva (**Y5** ;  $\lambda_5= 11,875\%$ ) completam esta participação. O médio curso é a região que tem o maior valor pago em consumo de energia (R\$69), alta produção de ovos (67% dos domicílios) para consumo, baixa renda (1,6 salários mínimos) e escolaridade (Fundamental I), seguida de maior destino de água de resíduo produtivo ao meio hídrico, sem o devido tratamento (89% dos domicílios).

No **Baixo curso**, a componente Integridade Ecosistêmica e Saúde Humana (**Y1**) é o diferencial, com associações positivas da flora ( $r_{xy}=0,918$ ), fauna ( $r_{xy}=0,873$ ) e participação do Programa Saúde da Família ( $r_{xy}=0,768$ ), em relação às demais componentes, Educação (**Y2**,  $\lambda_2= 16,910\%$ ), Sócioeconômico (**Y3**;  $\lambda_3= 15,471\%$ ), Bolsa Auxílio (**Y4**,  $\lambda_4= 12,235\%$ ), Segurança Alimentar (**Y5**;  $\lambda_5= 11,543\%$ ) e Atividade Produtiva (**Y6**;  $\lambda_6= 9,263\%$ ). Nesta região, a interferência na integridade ecosistêmica é identificada pela redução da flora e fauna (identificado por 87% dos entrevistados), mesmo mantendo as áreas verdes com algumas espécies preservadas - Açai (*Euterpe olearacea* Mart. ), Buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.), Castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e Paxiúba (*Socratea exorrhiza*) – e, pela saúde humana por terem menor participação no programa saúde da família (Saúde) (40%), mesmo apresentando melhor escolaridade (nível superior), renda (2,0 salários mínimos) e anos de estudo (educação) (7 anos), do que nos demais cursos.

No ano de 2013, 133 novas famílias foram contempladas com o programa Bolsa Família, 20 famílias em extrema pobreza foram atendidas e 69 novas famílias foram inseridas no PAIF<sup>20</sup> segundo entrevista no CRAS<sup>21</sup> – Pantanal/ Castanhal (PA). Nesta microbacia, a regulamentação de uso do recurso ambiental por meio de atividade poluidora (Brasil, 2011) e os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), não são atendidos.

Nas amostras meteorológicas as cinco variáveis foram distribuídas em período seco e período chuvoso. No **Período Seco**, 100% das variáveis se agruparam em uma única componente, a Elementos climáticos ( $\Sigma\lambda=90,562\%$ ) - Elementos climáticos (**Y1**;  $\lambda_1= 90,562\%$ ) - e no **Período Chuvoso** ( $\Sigma\lambda=83,684\%$ ), a Microclima (**Y1**;  $\lambda_1= 61,745\%$ ) e Precipitação Pluviométrica (**Y2**;  $\lambda_2= 21,939\%$ ), indicam esta vulnerabilidade. As informações meteorológicas abrangem a bacia como um todo. O período seco é o de maior contribuição para a bacia, com contribuições positivas da temperatura ( $r_{xy}=0,982$ ), velocidade do vento ( $r_{xy}=0,995$ ) e radiação solar ( $r_{xy}= 0,892$ ). É possível observar que a precipitação ( $r_{xy}=-0,908$ ) e a umidade ( $r_{xy}= -0,977$ ) contribuíram inversamente neste processo; ações conjuntas tiveram maior efeito. No período chuvoso, a umidade ( $r_{xy}=-0,988$ ) contribui negativamente na componente microclima, enquanto que a temperatura ( $r_{xy}= 0,971$ ) e a velocidade do vento ( $r_{xy}=0,974$ ), positivamente.

Nas amostras de água, seis variáveis foram assim distribuídas no alto, médio e baixo curso, em período seco e chuvoso. No **Período Seco – Alto curso** ( $\Sigma\lambda=79,987\%$ ) destaque para a componente Interferência na Vida Aquática (**Y1**;  $\lambda_1= 47,246\%$ ) com altas correlações para temperatura ( $r_{xy}=0,941$ ), oxigênio dissolvido ( $r_{xy}=0,927$ ) e pH ( $r_{xy}= 0,899$ ); a Esgoto Doméstico e Industrial (**Y2**;  $\lambda_2= 32,325\%$ ) é complementar. No **Médio curso** ( $\Sigma\lambda=74,756\%$ ), o mesmo comportamento se repetiu e a Interferência na Vida Aquática (**Y1**;  $\lambda_1= 54,930\%$ ) também foi a mais participativa, com altas correlações positivas para temperatura ( $r_{xy}=0,937$ ), pH ( $r_{xy}=0,887$ ),  $NO_3^-$  ( $r_{xy}= 0,750$ ), P ( $r_{xy}= 0,683$ ) e OD ( $r_{xy}= 0,669$ ). A componente, Esgoto Doméstico (**Y2**;  $\lambda_2= 19,825\%$ ), é complementar (termotolerantes ( $r_{xy}=0,855$ )). No **Baixo curso** ( $\Sigma\lambda=87,852\%$ ) a componente Esgoto Doméstico e Industrial (**Y1**;  $\lambda_1= 40,953\%$ ), apresenta altas correlações para o P ( $r_{xy}=0,969$ ),  $NO_3^-$  ( $r_{xy}=0,819$ ) e moderadas para OD ( $r_{xy}= 0,661$ ) e TEMP ( $r_{xy}= 0,632$ ), tendo a Interferência na Vida Aquática (**Y2**;  $\lambda_2= 28,338\%$ ) e Esgoto Doméstico (**Y3**;  $\lambda_3= 18,560\%$ ) como complementos.

A Interferência na Vida Aquática e Esgoto Doméstico e Industrial ocorreram tanto no período seco como no chuvoso, pois no **Alto curso** ( $\Sigma\lambda=81,987\%$ ) a Interferência na Vida Aquática (**Y1**;  $\lambda_1= 45,544\%$ ), também foi a mais participativa, com altas correlações para temperatura ( $r_{xy}=0,975$ ), OD ( $r_{xy}= 0,942$ ) e pH ( $r_{xy}= 0,839$ ) e a Esgoto Doméstico e Industrial (**Y2**;  $\lambda_2= 36,443\%$ ), como complementar; e no **Baixo curso** ( $\Sigma\lambda=81,193\%$ ) a componente Esgoto Doméstico e Industrial (**Y1**;  $\lambda_1= 41,338\%$ ) apresentou altas correlações para OD ( $r_{xy}=0,969$ ), P ( $r_{xy}= -0,727$ ) e TERMO ( $r_{xy}= 0,714$ ) e Esgoto Doméstico (**Y2**;  $\lambda_2= 39,855\%$ ) como complemento, mostrando que estas componentes comprometem a saúde da microbacia em qualquer período de chuva.

A alteração somente ocorre no médio curso do rio ( $\Sigma\lambda=68,801\%$ ), onde no **Período Chuvoso**, a primeira componente é Esgoto Doméstico e Industrial (**Y1**;  $\lambda_1= 46,494\%$ ) e não a Interferência na vida aquática, apresentando altas correlações para  $NO_3^-$  ( $r_{xy}=0,980$ ), P ( $r_{xy}=0,955$ ), pH ( $r_{xy}= 0,795$ ) e moderada para OD ( $r_{xy}= 0,509$ ), tendo a componente Esgoto Doméstico (**Y2**;  $\lambda_2= 22,306\%$ ) completando a vulnerabilidade. A componente Esgoto Doméstico e Industrial é maior, neste período, devido a elevação do fósforo ( $\bar{X}_h= 2,02 \text{ mg.l}^{-1}$ ), apesar do baixo valor de  $NO_3^-$  ( $\bar{X}_h= 0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ ) e elevado OD ( $\bar{X}_h= 6,3 \text{ mg.l}^{-1}$ ); no período seco, a Interferência da vida aquática, pelo aumento da temperatura ( $\bar{X}_h=29,0^\circ\text{C}$ ) e alteração do pH ( $\bar{X}_h=5,7$ ), e redução do OD ( $\bar{X}_h= 4,9 \text{ mg.l}^{-1}$ ) provenientes da presença de matérias orgânicas, como identificado na análise de água.

Em Santos (2007), no córrego Romão Reis, o OD foi menor em áreas com piscicultura ( $\bar{X}= 6,14 \text{ mg.l}^{-1}$ ) e de temperaturas elevadas ( $\bar{X}= 30,4^\circ\text{C}$ ), interferindo na vida aquática e, também no Jari/Amapá, em áreas de urbanização, no período menos chuvoso (setembro), com alta atividade de radiação solar (Oliveira e Cunha, 2014). Na Tabela 1, as componentes principais com maiores pesos adquiridos foram a Atividade Produtiva no alto curso, a Socioeconômica e Educativa no médio, e a Integridade Ecosistêmica no baixo curso do rio, tanto período seco como no chuvoso. Na análise da água, a componente Interferência na Vida Aquática foi a que mais contribuiu para a vulnerabilidade no alto curso, tanto no período seco como no chuvoso; no médio curso a componente Interferência na Vida Aquática no período seco e a Esgoto Doméstico e Industrial no período chuvoso e, assim como no baixo curso, a Esgoto Doméstico e Industrial no período seco e chuvoso.

Pela meteorologia, os pesos de maior contribuição foram identificados em Elementos climáticos no período seco e Microclima no período chuvoso, ambos pra todos os cursos do rio, considerando que a estação meteorológica atendeu a microbacia como um todo.

**Tabela 1.** Dados analisados e as componentes principais correspondentes, com seus respectivos pesos ( $W_i$ ) e ordem de contribuição pelos escores ponderados ( $W_i \cdot E_2$ ), em cada curso do rio e período de chuva (seco/chuvoso), no índice de vulnerabilidade da microbacia do rio Praiquara, Amazônia Oriental.



Origem dos Dados	Componentes	Alto Curso		Médio Curso		Baixo Curso	
		Período Seco w <sub>i</sub> ; Ordem	Período Chuvoso w <sub>i</sub> ; Ordem	Período Seco w <sub>i</sub> ; Ordem	Período Chuvoso w <sub>i</sub> ; Ordem	Período Seco w <sub>i</sub> ; Ordem	Período Chuvoso w <sub>i</sub> ; Ordem
Curso populacional	Integridade ecossistêmica	21,3 ; 1°	21,3 ; 1°	20,7 ; 5°	20,7 ; 5°	...	...
	Atividade produtiva	21,4 ; 2°	21,4 ; 2°	15,1 ; 7°	15,1 ; 8°	10,6 ; 8°	10,6 ; 9°
	Segurança alimentar	21,8 ; 3°	21,8 ; 3°	16,1 ; 6°	16,1 ; 6°	13,1 ; 6°	13,1 ; 8°
	Sócioeconômica	18,8 ; 4°	18,8 ; 4°	...	...	17,6 ; 4°	17,6 ; 5°
	Saúde humana	16,6 ; 5°	16,6 ; 5°	23,8 ; 4°	23,8 ; 3°	...	...
	Educação	...	...	...	...	19,3 ; 3°	19,3 ; 3°
	Sócioeconômica e educativa	...	...	24,3 ; 3°	24,3 ; 2°	...	...
	Bolsa auxílio	...	...	...	...	13,9 ; 5°	13,9 ; 7°
Integridade ecossistêmica e saúde humana	...	...	...	...	25,5 ; 2°	25,5 ; 2°	
Análise de Água	Esgoto doméstico e industrial	40,6 ; 8°	44,5 ; 8°	...	67,6 ; 1°	46,6 ; 4°	50,9 ; 4°
	Interferência na vida aquática	59,4 ; 7°	55,6 ; 6°	73,5 ; 1°	...	32,3 ; 7°	...
	Esgoto doméstico	...	...	26,5 ; 8°	32,4 ; 7°	21,12 ; 9°	49,1 ; 6°
Meteorologia	Microclima	...	73,8 ; 7°	...	73,8 ; 4°	...	73,8 ; 1°
	Precipitação	...	26,2 ; 9°	...	26,2 ; 9°	...	26,2 ; 10°
	Elementos Climáticos	100 ; 6°	...	100 ; 2°	...	100 ; 1°	...
<b>Índice de Vulnerabilidade (%)</b>		<b>72,1</b>	<b>72,1</b>	<b>54,8</b>	<b>54,8</b>	<b>49,0</b>	<b>49,0</b>

Os resultados segundo definição de Gogu e Dassagues (2000), mostram que a vulnerabilidade na microbacia é específica (efluentes domésticos e industriais), principalmente no alto e médio curso do rio e intrínseca (ação natural) no baixo curso, embora fatores específicos também sejam presentes; varia de um curso ao outro do rio, mais por influência das ameaças de ordem antrópicas que geram o estresse ao ecossistema lótico (Srinivasan et al., 2013). Estas ameaças (consumo de energia, produção de ovos e redução das espécies florestais) interferem na Integridade Ecossistêmica e, que em conjunto com a Atividade Produtiva (Lawrence et al., 2002; Komnenic et al., 2009) e a Segurança Alimentar do indivíduo, comprometem este ecossistema.

A Saúde Humana (Razzolini e Günther, 2008), a Integridade Ecossistêmica (preservação do Meio Ambiente) (Sullivan, 2011), e o Esgoto Doméstico e Industrial são componentes importantes para a redução desta vulnerabilidade do Praquiçara.

No alto curso a vulnerabilidade é alta (72,1%), no médio curso (54,8%) e no baixo curso (49,0%) são moderadas (Figura 2). Os fatores naturais, como os Elementos Climáticos, estão em 6° lugar, no alto curso do rio e em 1° e 2° lugar no baixo e médio curso, respectivamente, no período seco (Tabela 1), na ordem de contribuição com a vulnerabilidade da microbacia.

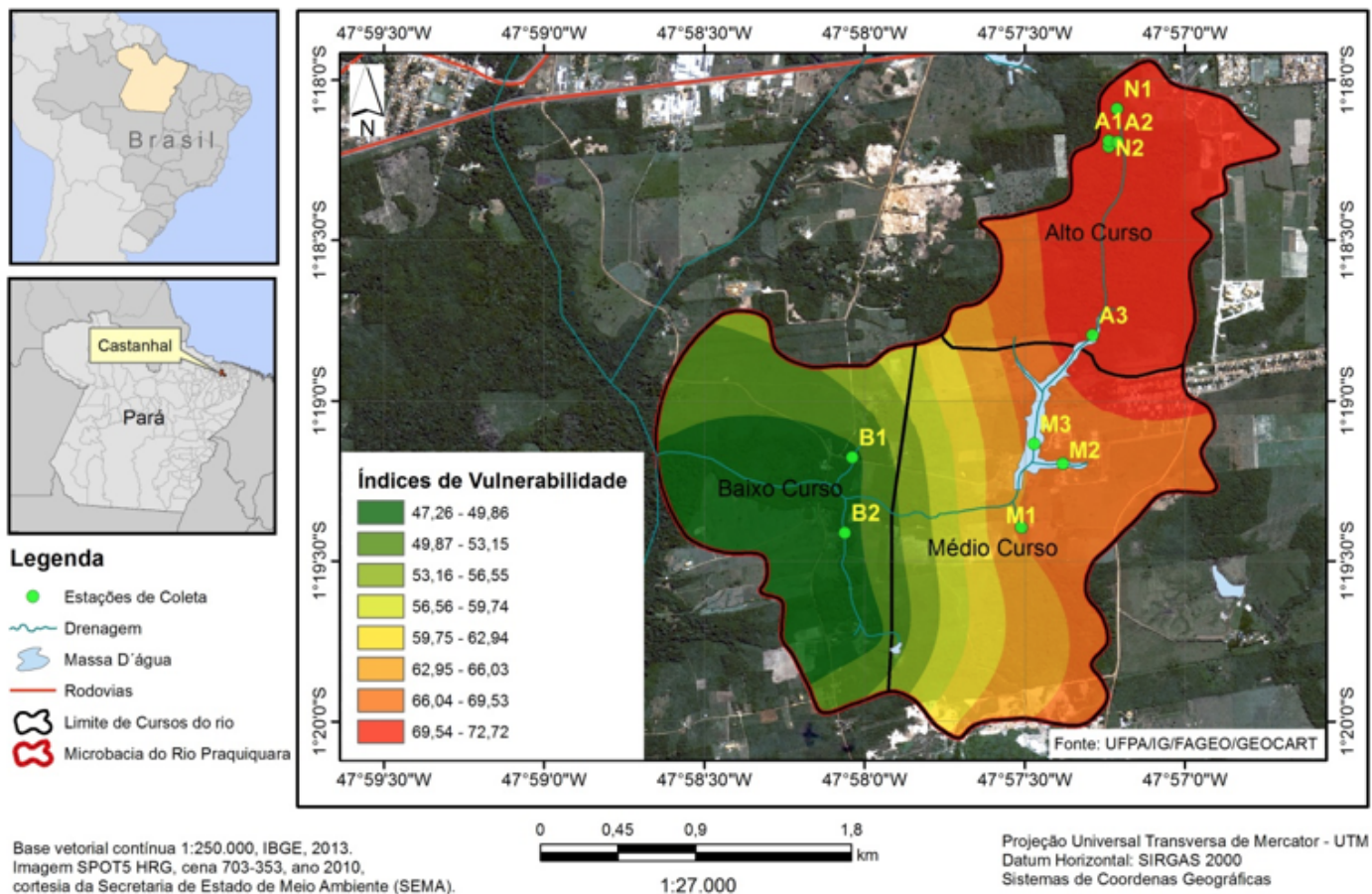


Figura 2. Vulnerabilidade da microbacia do rio Praiquiquara com seus respectivos índices por curso do rio e estações de coletas de água.

## 4. Conclusões

No alto curso a maior contribuição para a vulnerabilidade foi a Integridade Eossistêmica, no médio curso a Interferência na Vida Aquática (período seco) e Esgoto doméstico e Industrial (período chuvoso) e, no baixo curso, Microclima (período chuvoso) e Elementos Climáticos (período seco).

O índice de vulnerabilidade é alto (72%), no alto curso e, no médio e baixo curso é moderado (54,8% e 49%, respectivamente). Embora se esperasse que o índice de vulnerabilidade fosse maior no período chuvoso, este índice não se alterou com a variabilidade pluviométrica.

## Agradecimentos

Ao PPGCA – LABECOS – UFRA, ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo (2010-2014), ao MS – IEC - Secção Meio Ambiente pelas análises de água. À UFPA e ao MS-IEC – Laboratório de Geoprocessamento pela elaboração dos mapas georreferenciados. Ao INMET pelas informações de dados meteorológicos. À SEMA pelas imagens de satélite.

## Referências

- Adger, W.N. (2006) - Vulnerability. *Global Environmental Change*. n.16, p. 268 – 281.
- Álvares, C.A.; Stape, L.J.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. (2013) - Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, n. 6, p.711–728, DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507. Gebruder Borntraeger.
- Andrade, E.M. de; Araújo, L. de F.P.; Rosa, M.F.; Disney, W. & Alves, A.B. (2007)- Seleção dos Indicadores da Qualidade das águas Superficiais pelo Emprego da Análise Multivariada. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.27, n.3, p.683-690.

- Anton, H. (2007) - Álgebra Linear Contemporânea [recurso eletrônico]. Roberto C. Busby: tradução Claus Ivo Doering – Dados eletrônicos – Porto Alegre: Bookman, 603p.
- Apha. American Public Health Association. (1998). - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19º ed. Washington, APHA, 1100p.
- \_\_\_\_\_. American Public Health Association. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21º ed. Washington, APHA, 1-27p.
- Araújo, P.P.; Oliveira, F. de A.; Cavalcante, I.N.; Queiroz, J.C. B.; Carneiro, B. S. & Tancredi, A.C.F.N.S. (2011) - Classificação hidroquímica e contaminação por nitrato no aquífero. Revista Ambiente & Água, vol.6, p. 1/199-16.
- Brasil. Presidência da República. Gabinete. (2011) - Lei Federal Complementar, de 8 de dezembro de 2011. Resolução nº 79/2009 e 89/2011 do COEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente e da Lei Estadual nº 7.398/2010 (SEMA/PA). Brasília: MMA.
- \_\_\_\_\_. Presidência da República. Casa Civil. (2010) - Lei Federal Nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Brasília, DF.
- Bussab, W.de. & Morettin, P.A. (2003). Estatística Básica. 5ª ed. São Paulo: Saraiva, 526p. ISBN 85-02-03497-9.
- Cohen, J.E. (1995). Population Growth and Earth's Human Carrying Capacity. Science, n. 21; 69p.
- Costa, C.W.; Dupas, F.A. & Pons, N.D. (2012). Regulamento de uso do solo e impactos ambientais: Avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP. São Paulo, UNESP, Geociências, vol.3, n. 2, p.143-157.
- Cross, K.; Awuor, C.& Oliver, S. (2009). Climate Change Vulnerability Assessment: Global Water Initiative-Kenya. The Global Water Initiative. Garissa, Kenya, 59p.
- Corrêa, J.M.; Gerhard, P.& Figueiredo, R. De O. (2012). Ictiofauna de igarapés de pequenas bacias de drenagem em área agrícola do Nordeste Paraense, Amazônia Oriental. Ambi-Agua, Taubaté, vol.7, n. 2, p. 214-230. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.739>.
- Figueiredo, R. de O.; Markewitz, D.; Davidson, E.A.; Schuler, A.E.; Watrin, O. dos S. & Silva, P. de S. (2010). Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. Journal of Geophysical Research, n. 115(G04004): DOI:10.1029/2009, JG001200.
- Figueiredo, R. de O.; Börner, J. & Davidson, E.A. (2013). Watershed services payments to smallholders in the Brazilian Amazon: challenges and perspectives. Ambi-Agua, Taubaté, vol.8, n. 2, p.6-17. DOI:<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1056>.
- Gogu, R.C. & Dassagues, A. (2000). Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. Environmental Geology, April, vol.39, n. 2, p.549-559.
- Goodman, L. (1961). Snowball Sampling. In: Annals of Mathematical Statistics, 1961; n.32, p.148-170.
- Goudie, A. (2013). The human impact on the natural environment: past, present and future. John Wiley & Sons, Ltd. Seventh Edition.
- Hach. (1994). Manual procedures: DR 2008 Spectrophotometer. Eleven Edition, Hach Company, Loveland, Colorado.
- Hair Jr., J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E. & Tatham, R.L. (2009). Análise Multivariada de Dados. Tradução: Adonai Schlup Sant' Anna. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 688p.
- Hooper, R. (2003). Diagnostic tools for mixing models of stream water chemistry. Water Resources Research, vol.39, n. 3, p.1055. DOI:10.1029/2002WR001528.
- Jesuino, S. de A. (2010). Análise da fragmentação da vegetação arbórea na bacia hidrográfica do rio Apeú, como subsídio ao planejamento ambiental. Dissertação. Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil. 69p.
- Komnencic, V.; Ahlers, R. & Vander Zaag, P. (2009). Assessing the usefulness of the water poverty index by applying it to a special case: can one be water poor with high levels of access? Physics and

Chemistry of the Earth. n. 34, p. 219-224.

Lawrence, P.; Meigh, J. & Sullivan, C. (2002). The Water Poverty Index: an International Comparison. Keele Economics Research Papers. Kerp. n.19. ISSN 1352-8955.

Lossardo, L.F.& Lorandi, R. (2010). Caracterização das potencialidades e fragilidades ambientais do meio físico de parte do município de Santa Rita do Passa Quatro (SP). São Paulo, UNESP, Geociências. Vol. 29, n.3, p.389-399.

Mingoti, S.A. (2005). Análise de dados a partir de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 297p.

Moore, M.; Gould, P. & Keary, B.S. (2003). Global urbanization and impact on health. International Journal of Hygiene and Environmental Health. n. 206, p. 269-278.

Moraes, D. S. de L.& Jordão, B.Q. (2002). Degradação dos recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. Revista Saúde Pública. Vol. 36, n.3, p.370-4.

Neill, C.; Elsenbeer, H.; Krusche, A.V.; Lehmann, J.; Markewitz, D. & Figueiredo, R. de O. (2006). Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experimente. Hydrological Processes, n. 20: p. 2467-2476. DOI: 10.1002/hyp.6210.

Odum, E. P. & Barrett, G. W. (2011). Fundamentos de Ecologia. 5ª ed., São Paulo: Cengage Learning, 612p.

Oliveira, B.S.S. de & Cunha, A.C. da. (2014). Correlação entre qualidade da água e variabilidade da PP no sul do Estado do Amapá. Rev. Ambient. Água, Taubaté, vol.9, n. 2. DOI: 10.4136/ambi-  
agua.1287.

Pavanelli, G.C.; Eiras, J. da C. & Takemoto, R.M. (2008). Doenças de peixes: profilaxia, diagnóstico e tratamento. 3ª ed. Maringá: Eduem, 311 p.

Pimenta, S.M.; Lima, C.V. de L. & Ribeiro, T.G. (2009). Avaliação físico-química da qualidade da água, relação com uso do solo na bacia do Ribeirão Santo Antônio. Revista Processos Químicos.

Primavesi, A. (2006). Cartilha do solo. São Paulo: Fundação Mokiti Okada, 2006. 118p. ISBN 85-88173-07-7.

Queiroz, W.T. (1995). Processo de estratificação multidimensional. Boletim da Faculdade de ciências Agrárias do Pará, Belém. n. 23: p.7-21.

Razzolini, M.T.P & Günther, W.M.R. (2008). Impactos na Saúde das Deficiências de Acesso a Água. Saúde Soc. São Paulo, vol.17, n.1: p.21-32.

Rocha, M.B.M. da; Rodrigues, L. dos.; Costa, C.C.; Oliveira, P.R. de; Silva, I.J. da; Jesus, E.F.M. de & ROLIM, Renata G. (2006). Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro, vol. 22, n.9, p.1967-1978.

Rossetti, D. de F. (2006). Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 6, n. 2, p. 7-18, outubro.

Sachs, I. (2012). Dossiê Sustentabilidade. De volta à mão visível: os desafios da Segunda Cúpula da Terra no Rio de Janeiro. Estudos Avançados, vol.26, n.74, 16p.

Santos, G.V.; Dias, H.C.T.; Silva, A.P. de S.& Macedo, M. de N.C. de. (2007). Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão Reis, Viçosa-MG. Revista Árvore, Viçosa-MG, vol.31, n.5, p.931-940.

Srinivasan, V.; Seto, K.C.; Emerson, R. & Gorelick, S.M. (2013). The impact of urbanization on water vulnerability: A coupled human-environment system approach for Chennai, India. Global Environmental Change, n.23, p. 229-239.

Sonwa, D.J.; Somorin, O.A.; Jum, C.; Bele, M.Y. & Nkem, J.N. (2012). Vulnerability, forest-related sectors and climate change adaptation: The case of Cameroon. Forest Policy and Economics. n. 23: p.1-9.

Souza, S.R. de. (2010). Dinâmica da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Pará, Brasil. Dissertação. Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil. 88p.

Strahler, A. (2013). *Introducing Physical Geography*. Ed. Wiley. 644 p. ISBN 1118396200, 9781118396209.

Sullivan, C.A. (2011). Quantifying water vulnerability: a multi-dimensional approach. *Stoch Environ Res Risk Assess.* n. 25: p.627–640. DOI 10.1007/s00477-010-0426-8

Sullivan, C.; Vörösmarty, C.J.; Craswell, E.; Bunn, S.; Cline, S.; Heidecke, C.; ... Meigh, J. (2006). *Mapping the Links between Water, Poverty and Food Security*. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, 16 to 19 May, 2005. GWSP. *Issues in GWS Research*, No.1. GWSP IPO, Bonn. 60p.

Valente, M. A.; Silva, J. M. L. da; Rodrigues, T. E.; Santos, P. L. dos; Carvalho, E. J. M.; Rolim, P. A. M.; Silva, E. S. & Pereira, I. C. B. (2001). *Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Castanhal, Estado do Pará*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Documentos, n. 119. 60p. ISSN 1517-2201.

Veronez, B.P. (2011). *Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacia hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia Oriental*. Dissertação. Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. 174p.

Vörösmarty, C.J.; McIntyre, P.B.; Gessner, M.O.; Dudgeon, D.; Prusevich, A.; Green, P. ... Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*. Sep. 2010; 467: 555–561. doi:10.1038/nature 09440.

Walpole, R. E.; Myers, R.H.; Myers, S.L. & YE, K. (2009). *Probabilidade e estatística para engenharia e ciências*. Tradução: Luciane F. Pauleti Vianna. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 491 p. ISBN 978-85-7605-199-2.

- 
1. *Doutora em Ciências Agrárias. Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas. Brasil. [valeriahomci@yahoo.com.br](mailto:valeriahomci@yahoo.com.br)*
  2. *Doutor em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas. Brasil. [fdeassis@gmail.com](mailto:fdeassis@gmail.com)*
  3. *Doutor em Ciências Agrárias. Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Ciberespacial, Departamento do Curso de Engenharia e Agrimensura. Brasil. [pedro.campos@ufra.edu.br](mailto:pedro.campos@ufra.edu.br)*
  4. *Mestrando em Ciências e Meio Ambiente. Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Departamento de Pós-graduação em Ciências e Meio Ambiente. Brasil. [marcohomci@yahoo.com.br](mailto:marcohomci@yahoo.com.br)*
  5. *Doutora em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias, Laboratório de Manejo de Ecossistemas e Bacias Hidrográficas. Brasil. [vandaandrade.ufra@gmail.com](mailto:vandaandrade.ufra@gmail.com)*
  6. *Mestre em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Laboratório de Cartografia Geológica. Brasil. [osmar.guedes@gmail.com](mailto:osmar.guedes@gmail.com)*
  7. *Doutor em Ciências da Informação. Instituto Evandro Chagas, Laboratório de Geoprocessamento. Brasil. [nelsoncg2009@gmail.com](mailto:nelsoncg2009@gmail.com)*
  8. *Especialista em Geotecnologia. Instituto Evandro Chagas, Laboratório de Geoprocessamento. Brasil. [luishrg@gmail.com](mailto:luishrg@gmail.com)*
  9. *Mestre em Geologia e Geoquímica. Instituto Evandro Chagas, Seção Meio Ambiente, Laboratório de Toxicologia "Dr. Edilson Brabo". Brasil. [brunocarneiro@iec.pa.gov.br](mailto:brunocarneiro@iec.pa.gov.br)*

Kf é o fator de forma da bacia – relação entre a área e o comprimento da bacia.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – 2º DISME

IEC – Instituto Evandro Chagas

UFPA – Universidade Federal do Pará

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBAMA – Instituto Brasileiro de Água e Meio Ambiente

BDG – Banco de Dados Geográficos

GDB - Geographic Database

SPOT - Satellite Pour l'Observation de la Terre

SEMA – Secretaria do Estado de Meio Ambiente

USGS - Serviço de Geologia dos Estados Unidos

OLI - Operational Land Imager

PDI – Processamento Digital de Imagem

SRTM/NASA - Shuttle Radar Topography Mission/ National Aeronautics and Space Administration.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

MDE – Modelo Digital de Elevação

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ANA – Agência Nacional de Águas  
IVA – Índice de Vulnerabilidade da Água  
PAIF– Serviço de Proteção e Atendimento Integral à Família.  
CRAS – Centro de Reabilitação e Assistência Social

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 38 (Nº 13) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados