

3.4 Análise integrada

Este item apresenta os cenários de vulnerabilidade ambiental e climáticos para bacia do rio Solimões. O artigo a seguir apresenta uma análise integrada da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Solimões associada a mudanças climáticas do futuro, para gerar cenários de vulnerabilidade considerando a cobertura vegetal e as informações climáticas do modelo HadCM3 do terceiro relatório (Third Assessment Report – TAR) do IPCC (2001), utilizando as ferramentas de SIG.

ARTIGO 4

CENÁRIOS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL E CLIMÁTICOS PARA BACIA DO RIO SOLIMÕES

Resumo

O clima controla o intemperismo diretamente, por meio da precipitação pluviométrica e da temperatura de uma região, e também indiretamente, por intermédio dos tipos de cobertura vegetal, influenciando nos processos morfodinâmicos e pedogenéticos. Este trabalho teve como objetivo apresentar uma análise integrada da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Solimões associada a mudanças climáticas do futuro, para gerar cenários de vulnerabilidade considerando a cobertura vegetal e as informações climáticas do modelo HadCM3 do terceiro relatório (Third Assessment Report – TAR) do IPCC (2001), utilizando as ferramentas de SIG. O uso de técnicas de geoprocessamento possibilitou o cruzamento de mapas de vulnerabilidade com informações as informações climáticas de precipitação (mm/dia) relativas as médias mensais do clima futuro interpoladas pelo método inverso do quadrado da distância, para os cenários A2 e B2, centrados em 2020, 2050 e 2080. O mapa do cenário de vulnerabilidade foi gerado a partir da análise integrada utilizando técnicas de multicritério, resultando em uma modelagem predominando classes de nível alto e médio, evidenciando, respectivamente, a cadeia andina e a planície amazônica.

Palavras-chave: Vulnerabilidade; Clima futuro; IPCC; análise integrada; Geoprocessamento.

1. Introdução

A vulnerabilidade natural está relacionada a resistência do ambiente aos processos erosivos acelerados, considerando a integração de cinco fatores específicos: clima, geologia, geomorfologia, solos e vegetação/uso do solo. A partir dessa base temática, os fatores são estratificados em classes de vulnerabilidade. Desta forma, a vulnerabilidade natural é avaliada mediante a ponderação da influência conjunta de cada um desses temas no espaço geográfico. A compreensão de como a vulnerabilidade em cada fator específico contribui para a vulnerabilidade natural geral é importante na medida em que situações de maior ou menor vulnerabilidade vão surgir de acordo com os processos de ocupação ocorrerão naquela porção do território (Nascimento, 2011).

Diversos estudos foram desenvolvidos com intuito de auxiliar na identificação de áreas vulneráveis a erosão como forma de subsidiar o planejamento ambiental (Crepani *et al.*, 2001; Grigio *et al.*, 2006; Silva & Maniesi, 2005). Esses trabalhos possuem em comum a utilização de dados integrados em Sistema de Informações Geográficas (SIG) que, de acordo com Wang *et al.* (2008), é uma ferramenta útil e eficaz na avaliação da vulnerabilidade, pois múltiplas camadas de informações podem ser integradas e processadas.

Crepani *et al.* (2001) propuseram uma metodologia para elaboração de mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão, baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), com o objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia. Essa metodologia estabelece uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese e pedogênese. Assim, cada tema é analisado individualmente e, posteriormente, integrado em ambiente SIG, no qual, os índices de vulnerabilidade são obtidos por meio da média ponderada. Atualmente, esta metodologia é empregada de forma satisfatória em diversas regiões do Brasil (Silva & Maniesi, 2005; Ribeiro & Campos, 2007; Cunico & Oka-Fiori, 2008).

Grigio *et al.* (2006) aplicaram o método da ponderação de fatores, que possibilita a compensação desses fatores através de um conjunto de pesos que indicam a importância relativa de cada fator, na tentativa de melhor representar as características físicas da área em estudo.

Wang *et al.* (2008) propuseram um índice de vulnerabilidade que usa processo de ponderação. No entanto, este é realizado por meio de Processo Analítico Hierárquico (AHP) desenvolvido por Saaty (1977). A utilização de ferramentas de suporte a decisão como AHP ajudam a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. Assim, tal técnica vem sendo aplicada com êxito em estudos de vulnerabilidade a erosão (Bantaya & Bishop, 1998; Dai *et al.*, 2001; Wu & Wang, 2007; Ni *et al.*, 2008). De acordo com Miara & Oka-Fiori (2007) o método AHP é eficiente por aplicar uma comparação par a par entre as variáveis, considerando assim as diferentes influências exercidas por cada variável física aos processos erosivos dentro da bacia. Para análises de risco ambiental, o método apresenta desempenho favorável por essa possibilidade de congregar dentro de uma única avaliação um grande número de variáveis.

No estudo da vulnerabilidade, as unidades de paisagem natural, segundo Amaral *et al.* (2004) apresentam uma combinação de eventos e interações, que imprimem a condição ambiental atual e são analisadas a partir do conhecimento de sua gênese, sua constituição física, sua forma e seu estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre

ela se desenvolve. Estas informações são fornecidas pela geologia, geomorfologia, pedologia e fitogeografia e precisam ser integradas para que se tenha uma visão real do comportamento de cada unidade diante de sua exploração. É também necessária a caracterização climática da região onde se localiza a unidade de paisagem, a fim de prever o seu comportamento face as alterações impostas pela ocupação.

Na abordagem da vulnerabilidade associada a mudanças climáticas torna-se necessário compreender que as informações climáticas variam de lugar para lugar, dependendo da latitude, distância do mar, vegetação, presença ou ausência de montanhas ou outros fatores geográficos. Também varia no tempo; de estação para estação, ano para ano, década para década ou ainda numa escala de tempo longo. Variações estatísticas significantes das médias do clima ou sua variabilidade, persistente durante décadas ou mais, são referidas como “mudanças climáticas”. (IPCCa, 2001).

As recentes preocupações com as mudanças climáticas globais e seus efeitos regionais trouxeram à tona a vulnerabilidade climática. Segundo os estudos divulgados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) podem provocar mudanças praticamente irreversíveis no clima e na paisagem, engendrando mudanças nos padrões de vento, temperatura, chuva e circulação dos oceanos (IPCC, 2007).

Neste sentido, para melhor obtenção das informações a respeito das características ambientais e climáticas da bacia, torna-se necessário a utilização de geotecnologias, análise espacial e sistemas de suporte à decisão.

2. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma análise integrada da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Solimões associada a mudanças climáticas do futuro, para gerar cenários de vulnerabilidade considerando a cobertura vegetal e as informações climáticas do modelo HadCM3 do terceiro relatório (Third Assessment Report – TAR) do IPCC (2001), utilizando as ferramentas de SIG.

3. Material e Métodos

Todo o processamento e interpretação dos dados para geração dos cenários de vulnerabilidade integrados ao clima futuro foi realizado com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, utilizando o ArcGIS 9.3[®]. Com apoio dessas técnicas foi possível realizar o cruzamento dos mapas de vulnerabilidade, obtidos segundo Crepani *et al.* (2001), para fatores que controlam os processos de erosão da bacia, com as informações adquiridas do

modelo HadCM3. A partir desses dados, também foram elaborados mapas de precipitação do clima futuro (2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2), cuja metodologia utilizada para a construção destes foi baseada no trabalho de Hamada *et al.* (2009).

Na elaboração de mapas do clima futuro, foram consideradas as informações climáticas de precipitação (mm/dia) relativas às médias mensais do clima futuro. Então, selecionou-se dois cenários, A2 e B2, para o clima futuro, centrados nas décadas 2020 (entre 2010 e 2039), 2050 (entre 2040 e 2069) e 2080 (entre 2070 e 2099), utilizando a média do modelo HadCM3 do Terceiro Relatório (*Third Assessment Report – TAR*) do IPCC (2001). Esse modelo apresenta resolução espacial de 3,7 x 2,5 e *grid* com tamanho de 96 x 73.

As seguintes etapas preliminares foram seguidas na preparação dos dados para geração dos mapas:

- Entrada no sumário de dados dos modelos do TAR (IPCC, 2001);
- Seleção do modelo climático global – HadCM3;
- Obtenção de arquivo com a descrição do modelo (*grid* e latitudes e longitudes);
- Seleção dos cenários A2 e B2 e as médias mensais da variável climática precipitação;
- Obtenção dos arquivos da variável climática precipitação;
- Organização dos dados estruturados em colunas de longitude, latitude e valor da variável (arquivo do tipo x, y, z).

Dessa maneira, após a obtenção dos arquivos com a variável climática precipitação, os dados foram organizados e estruturados em colunas com longitude, latitude e valor da citada variável. A longitude e a latitude estão em coordenada global.

Os dados da variável climática estruturados em colunas foram importados para o banco de dados do SIG e, depois, convertidos para o formato matricial. Para espacialização dos dados correspondente a média aritmética, adotou-se a metodologia proposta por Hamada *et al.* (2009), que utiliza o inverso do quadrado da distância (IQD), implementado no ArcGIS.

Os dados de precipitação foram selecionados a partir da mascara com o limite da bacia. Os mapas desta variável climática foram classificados em intervalos de valores e depois foi sobreposta a informação vetorial contendo os limites das áreas de contribuição hidrológica, com dados mensais dos anos centrados em 2020, 2050 e 2080 e cenários A2 e B2.

4. Resultados e discussão

4.1 Mapas dos cenários A2 e B2 do modelo HadCM3 para bacia do Solimões

Os mapas elaborados com as médias de precipitação dos anos centrados em 2020, 2050, 2080 e atual (1920 – 1980) foram classificados em intervalos de valores e, depois, recortados para área de estudo, utilizando a informação vetorial contendo o limite da bacia do Solimões. Assim, foram gerados sete mapas de cenários climáticos da variável precipitação para os cenários A2 e B2 do modelo HadCM3. Exemplos desses mapas estão na Figura 4.1.

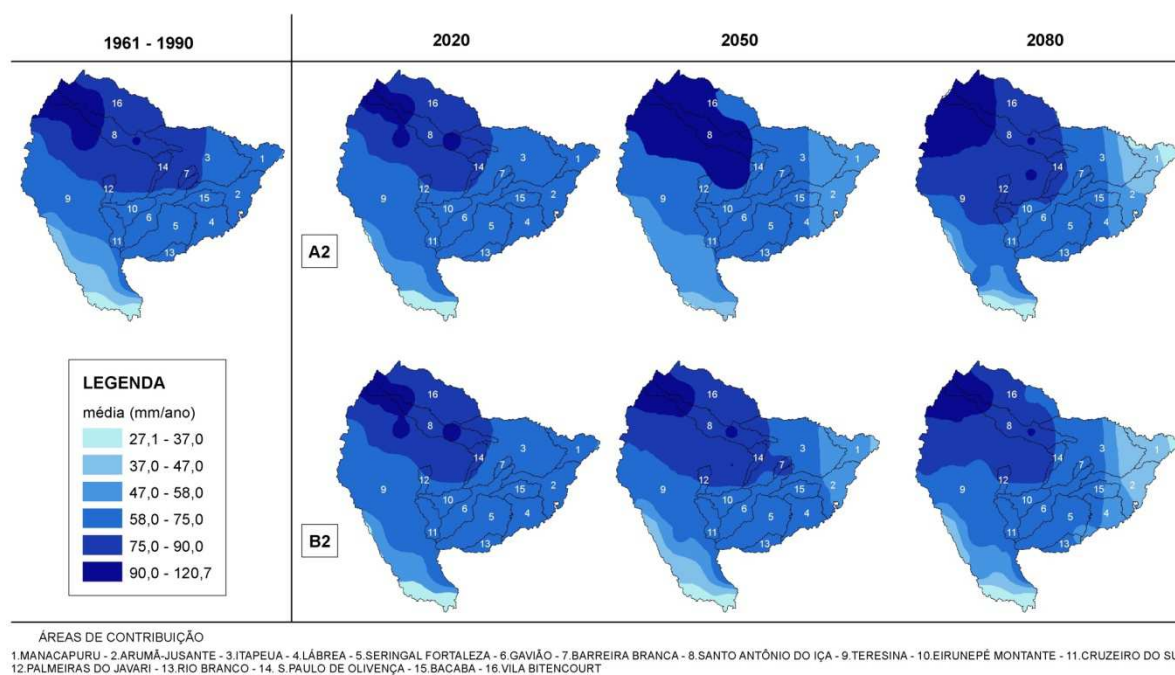


Figura 4.1 – Precipitação média (mm/ano) para o clima de referência (1961-1990) e futuro nos períodos de 2020, 2050 e 2080.

Analisando primeiramente o mapa do clima de referência (1961 – 1990), as maiores precipitações ocorrem principalmente na região das áreas de contribuição hidrológica: Teresina, São Paulo de Olivença, Santo Antônio do Içá, Barreira Branca, Gavião e Palmeiras do Javari. Outro comportamento que pode ser observado é o decréscimo da precipitação logo ao sul da bacia.

Nos mapas que representam os períodos do futuro, analisando o cenário A2, nota-se que a região onde ocorrem os valores altos de precipitação modifica-se principalmente no período correspondente a 2050, apresentando uma área de maior abrangência para os valores médios acima de 90 mm/ano. Já no cenário B2, o comportamento da precipitação média apresenta uma tendência diferente em relação aos mapas do cenário A2, ou seja, os intervalos máximos tendem a diminuir quando comparados, principalmente, ao período de referência.

Na Figura 4.2, observa-se o comportamento dos dados de precipitação média do Modelo HadCM3, cenário A2, para o período de referência (1961 – 1990) e do futuro (2020, 2050 e 2080) para a bacia do Solimões. As áreas 8 e 9 (Santo Antônio do Içá e Teresina), respectivamente, destacam-se em relação tanto aos dados de referência (1961 – 1990), representados pela linha azul, quanto às outras áreas. É importante notar que essas áreas estão localizadas na porção andina da bacia, caracterizada por relevo acentuado e potencialmente vulnerável aos processos erosivos.

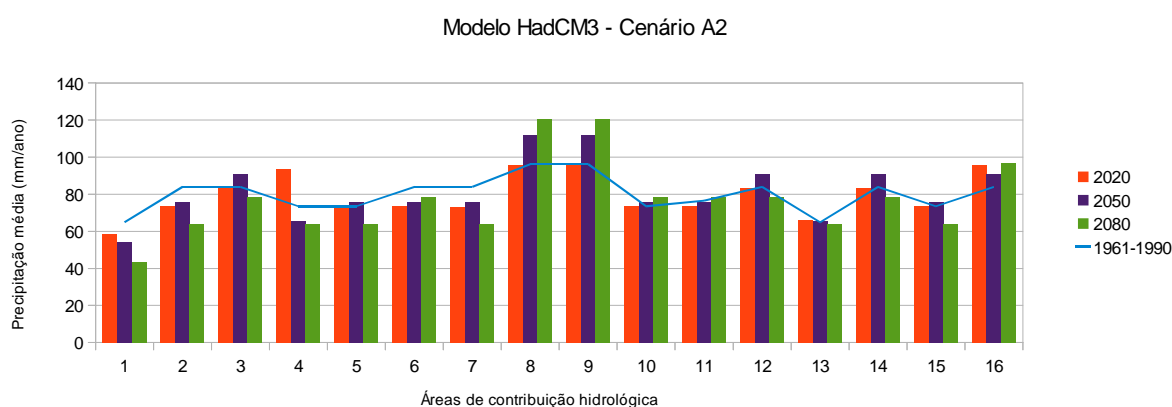


Figura 4.2 – Comportamento do cenário A2 para bacia do Solimões.

O Cenário B2, representado na Figura 4.3, mostra um comportamento da precipitação média dos períodos futuros mais coerentes em relação ao período de referência. Porém, nesse cenário, as duas áreas de contribuição anteriormente destacadas na Figura 4.2 não apresentam as alterações significativas.

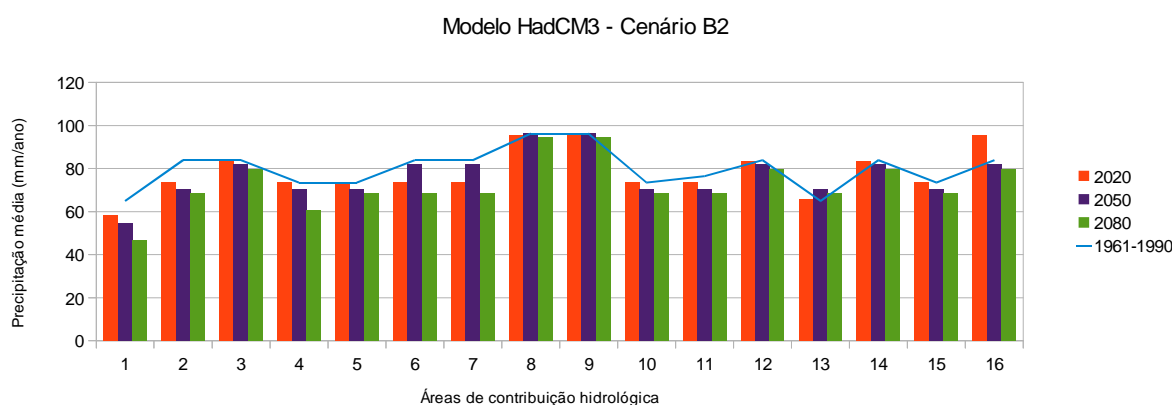


Figura 4.3 – Comportamento do cenário B2 para bacia do Solimões

4.2 Análise integrada e geração dos cenários

A análise integrada foi realizada a partir de técnicas de análise multicritério automatizadas e implementadas nos SIGs. O método adotado para integração dos mapas dos

fatores de controle foi a Média Ponderada, pois se considerou a hipótese de que esses fatores contribuem de forma diferenciada para os processos de vulnerabilidade da bacia do Solimões.

Para todos os cenários, após a integração dos mapas temáticos, foi realizada uma reclassificação, considerando cinco classes: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto, para representar o nível de contribuição para a vulnerabilidade da bacia.

Dessa forma, o processamento foi iniciado pela simulação do cenário de vulnerabilidade antrópica. Esse cenário foi gerado partindo da premissa que os quatro fatores que representam a vulnerabilidade natural têm peso correspondente ao grau de importância para a vulnerabilidade da bacia.

Os pesos adotados ficaram assim distribuídos: geologia recebeu peso 1; a intensidade pluviométrica recebeu peso 2; a geomorfologia recebeu peso 3; solos receberam peso 4; e a vegetação/uso recebeu peso 5, por apresentar interferência maior no nível de contribuição para vulnerabilidade da bacia. Na simulação dessa hipótese, foi utilizada a Média Ponderada expressa pela equação 4.1.

$$C_{vul.} \left(\frac{((Geologia*1)+(Int.Pluviom.*2)+(Geomorfologia*3)+(solos*4)+(Veg.Uso*5))}{15} \right) \quad (4.1)$$

Onde, C_{vul} é o Cenário de vulnerabilidade ambiental.

A Figura 4.4 mostra o resultado da ponderação dos fatores de controle responsáveis pela vulnerabilidade ambiental da bacia do Solimões. Com essa simulação, é possível considerar que a área de estudo é caracterizada, principalmente, por duas classes, apresentando nível de contribuição ao processo de vulnerabilidade variando de Médio a Alto.

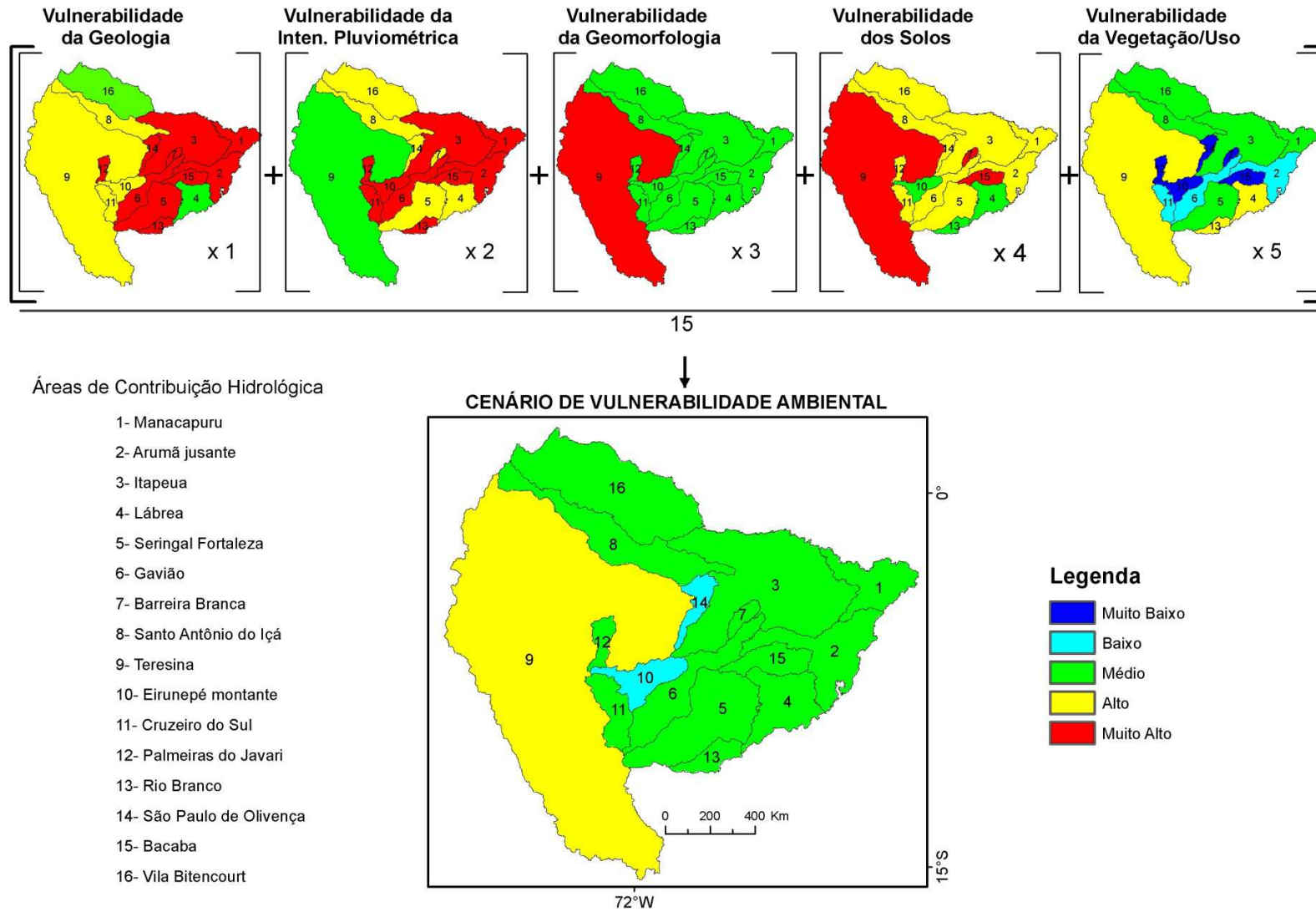


Figura 4.4 – Representação esquemática da simulação do cenário de Vulnerabilidade pelo método de Média Ponderada.

A partir da modelagem da vulnerabilidade, aplicando-se a análise multicritério, foram obtidos seis cenários considerando o clima futuro, com base nos dados do modelo HadCM3 e cenários A2 e B2 (IPCC, 2001). Os cenários foram gerados partindo da premissa que todos os fatores controladores do fluxo de sedimento na bacia têm contribuição de acordo com o grau de importância adotado no cenário antrópico do tópico anterior, exceto para variável precipitação, que foi considerada peso 1. Essa variável é, agora, representada pela média dos períodos (2020, 2050 e 2080). Para simular essa hipótese, foi utilizada a Média Ponderada expressa pela Equações 4.2, 4.3 e 4.4, tal que os cenários climáticos resultantes estão apresentados na Figura 4.5.

$$C2020 = \left(\frac{(Geologia*1)+(Precipitação2020*1)+(Geomorfologia*3)+(Solos*4)+(Veg.Uso*5)}{14} \right) \quad (4.2)$$

$$C2050 = \left(\frac{(Geologia*1)+(Precipitação2050*1)+(Geomorfologia*3)+(Solos*4)+(Veg.Uso*5)}{14} \right) \quad (4.3)$$

$$C2080 = \left(\frac{(Geologia*1)+(Precipitação2080*1)+(Geomorfologia*3)+(Solos*4)+(Veg.Uso*5)}{14} \right) \quad (4.4)$$

Onde, C2020, C2050 e C2080, são os Cenários Climáticos do futuro.

Na Figura 4.5, estão os mapas resultantes da ponderação gerada a partir da vulnerabilidade dos fatores de controle, utilizando o método de Média Ponderada. Comparando o mapa que representa o cenário de vulnerabilidade antrópica com os cenários de vulnerabilidade com o clima do futuro, é possível verificar que a classe Alto, que ocorre na área de contribuição hidrológica denominada Teresina, tende a diminuir a partir da extremidade sul. Já a área de contribuição São Paulo de Olivença, que apresentava a classe Baixo, é modificada para classe Médio. Eirunepé montante modifica-se parcialmente, com tendência entre a classe Baixo a Médio.

Os resultados obtidos após a modelagem foram coerentes, considerando as áreas de contribuição associadas às classes Alto e Médio, pois evidencia as duas porções que caracterizam a morfologia da bacia, ou seja, as áreas de planalto, caracterizada pela cadeia Andina, com nível de vulnerabilidade Alto, e a planície Amazônica, com nível de vulnerabilidade Médio.

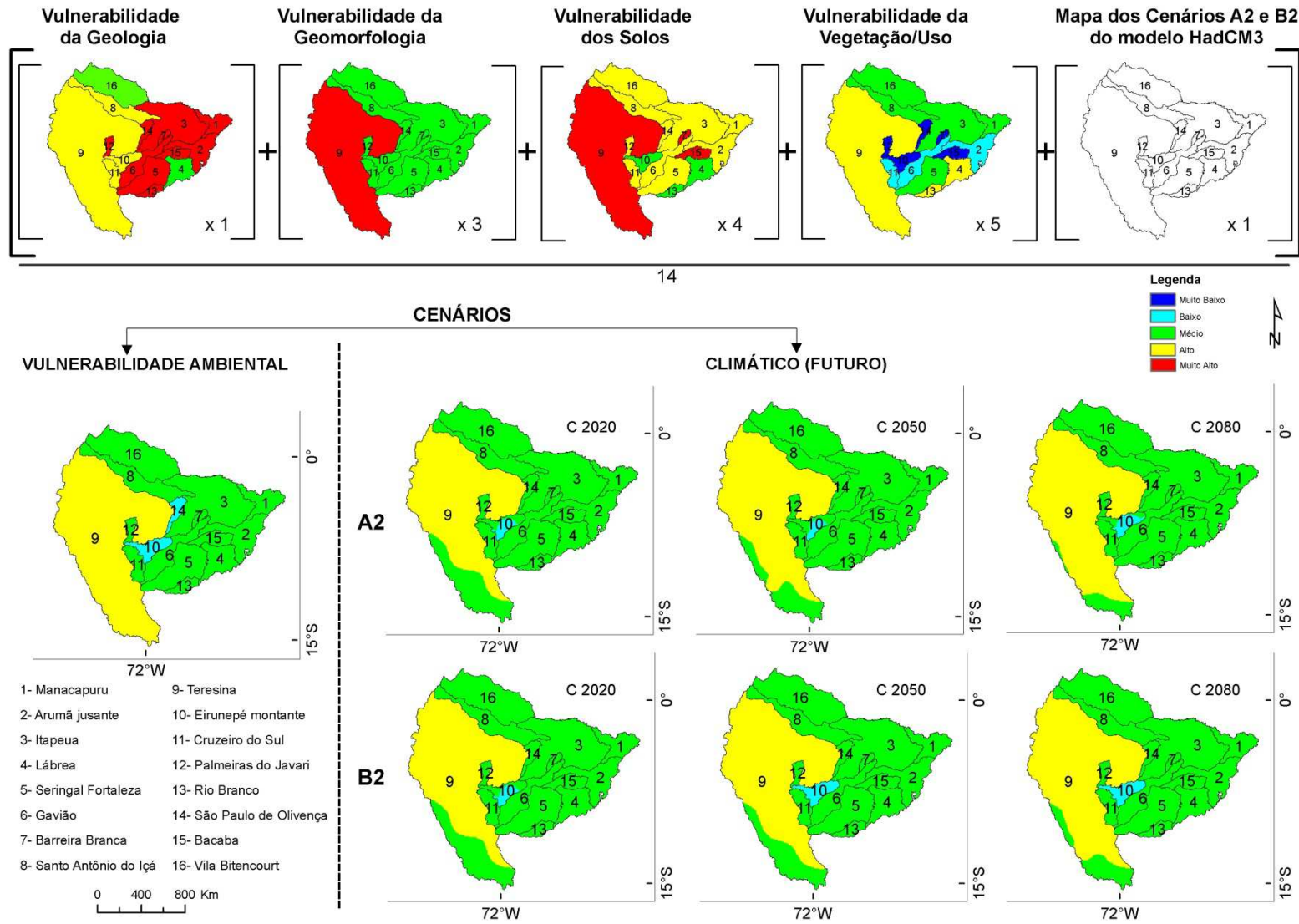


Figura 4.5 – Representação esquemática da simulação dos cenários de Vulnerabilidade Antrópico/Climático (futuro) pelo método de Média Ponderada.

5. Conclusões

Foram observadas mudanças na previsão da precipitação da bacia Amazônica ao longo do tempo, que incluem tanto incrementos quanto reduções, com base nas projeções do modelo climático global HadCM3 do TAR do IPCC(2001).

Considerando que a precipitação pluviométrica e a temperatura de uma região são diretamente controladas pelo clima e que este controla, indiretamente, os tipos de vegetação que poderão cobrir a paisagem, é importante observar a influência deste nos processos morfodinâmicos que caracterizam as áreas estáveis e com predominância de processos pedogenéticos ou, ainda, áreas com baixa vulnerabilidade natural tanto à erosão quanto a enchentes ou outros processos desestabilizadores do ambiente natural. Já as áreas instáveis e com predominância de processos morfogenéticos, estão sujeitas a erosão ou, ainda, estão sujeitas a inundações periódicas.

As projeções do IPCC (*op. cit.*) poderão atingir tanto as áreas urbanas quanto as rurais, pois uma redistribuição no regime pluviométrico pode resultar em grandes prejuízos para a população, especialmente a urbana. Os prejuízos para as áreas rurais, por sua vez, serão sobre as atividades agrícolas e os ecossistemas já pressionados pela ação antrópica.

No caso da Amazônia, se forem somadas às reduções de precipitação já previstas em resposta ao desmatamento (Nobre *et al.*, 1991), as possíveis reduções devido as mudanças climáticas aumentaria demasiadamente a susceptibilidade dos seus ecossistemas ao fogo, podendo induzir, inclusive, a “savanização” de algumas áreas da Amazônia, especialmente as bordas sul, leste e norte da região, predominando nestas áreas espécies mais tolerantes às estações secas mais prolongadas. De modo oposto, a tendência de aumento da precipitação, contrabalancearia a redução das chuvas devido ao desmatamento, favorecendo a manutenção dos ecossistemas e espécies.

As mudanças climáticas passaram a ser o foco de muitos pesquisadores que trabalham com vulnerabilidade, mesmo havendo muita incerteza sobre a magnitude e abrangência dessas mudanças. A relevância de parte desses estudos está no fato de que, além das mudanças atmosféricas, estão sendo avaliadas as dimensões social, econômica e cultural que essas mudanças poderão afetar. Os avanços metodológicos destes estudos podem contribuir efetivamente para integrar os diferentes aspectos que compõem os estudos de vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS

- Alcântara, E. H. 2004. Mudanças Climáticas, Incertezas Hidrológicas e Vazão Fluvial: O Caso do Estuário do Rio Anil. *Caminhos de Geografia* 8(12)158-173, Jun/2004.
- Amaral, E. F., Lani, J. L., Bardeales, N. G. e Oliveira, H. 2004. Vulnerabilidade Ambiental de Uma Área Piloto na Amazônia Ocidental: Trecho da Br-364 entre Feijó e Mâncio Lima, Estado do Acre. *Natureza & Desenvolvimento*, v. 1, n. 1, p. 87-102.
- Bantaya & Bishop, 1998 Bantayan, N. C. & Bishop, I. D. 1998. Linking objective and subjective modeling for land use decision-making. *Landscape and Urban Planning*, v. 43, p. 35-48.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Duarte, V.; Hernandez, P.; Florenzano, T & Barbosa, C. 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE.
- Cunico, C. & Oka-Fiori, C. 2008. Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Marumbi-PR: perspectivas para a análise e avaliação das condições sócio-ambientais. *Estudos Geográficos*, v. 6, n. 1, p. 37-61.
- Dai, A. T. M. L. et al. 2001. Climate of the Twentieth and Twenty-First Centuries Simulated by NCAR Climate System Model. *Journal of Climate* 14, 485-519.
- Grigio, A. M.; Castro, A. F.; Souto, M. V. S.; Amaro, V. E.; Vital, H.; Diodato, M. A. 2006. Use of Remote Sensing and Geographical Information System in the Determination of the Natural and Environmental Vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 1427-1431.
- Hamada, E.; Gonçalves, R. R. V.; Ghini, R. 2009. Método de elaboração de mapas dos cenários climáticos futuros para o Brasil. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. INPE, p. 3891-3897.
- Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) e Banco Mundial, 2000. Amazônia Florestal: oportunidades para uma economia sustentável. Série Parceria, No 01. 82 p. Brasília.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001a. Working Group I. Third Assessment Report. Summary for Policymakers. WMO. 17 pp. Disponível em: <http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2009.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001b. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers. Disponível em: <http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2009.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Working Group II – Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Crown: United Kingdom.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2009. Data Distribution Centre. Disponível em: <<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>>. Acesso em: jun. 2009.

Marengo, J. A. 2001. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [S.l.], v. 16, p. 1-18,

Miara, M. A. & Oka-Fiori, C. 2007. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. *R. RA´E GA*, n. 13, p. 85-98.

Nascimento, J. A. S. do. 2011. Vulnerabilidade a eventos climáticos extremos na Amazônia Ocidental: uma visão integrada na bacia do rio Acre: UFRJ/COPPE,. XII, 285 p.: il.; 29,7 cm.

Nobre C. A.; Selllers, P.; Shukla, J., 1991. Regional climate change and amazonian deforestation model. *Journal of Climate*, v.4, n.10, p.957-988.

Ribeiro, F. L. & Campos, S. 2007. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 6, p. 628-636.

Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, p. 234-281.

Silva, L. P. & Maniesi, V. 2005. Avaliação dos limites de uso e ocupação e as pequenas centrais hidrelétricas da sub-bacia do rio Enganado – Rondônia: uma proposta de uso sustentável. *Geociências*, v. 24, n. 3, p. 267-276.

Tricart, J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 91p.

Wang, X. D.; Zhong, X. H.; Liu, S. Z.; Liu, J. G.; Wang, Z. Y.; Li, M. H. 2008. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*, v. 72, p. 1929-1939.

3.5 Estudo comparativo de índices morfométricos

O artigo intitulado *Estudo comparativo de índices morfométricos nas bacias dos rios Purus e Juruá – Região Amazônica* foi encaminhado em fevereiro de 2012 para a revista *Ciência & Ambiente*, tendo como autores: Edileuza Carlos de Melo, Naziano Pantoja Filizola e Jean Loup Guyot. Esse artigo aborda as etapas da caracterização morfométrica das áreas de contribuição hidrológica dos rios Purus e Juruá, por meio de hierarquia fluvial, análise linear, análise areal, análise hipsométrica, perfil longitudinal e discriminação de áreas com comportamento hidrológico similar, resultantes da combinação de tipos de solos com tipos de vegetação ou uso da terra. A análise comparativa dos índices morfométricos e a definição de unidades de resposta hidrológica foram obtidas com o uso de técnicas de geoprocessamento, trabalhadas em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O referido artigo é apresentado seguindo a formatação da revista.

ARTIGO 5

ESTUDO COMPARATIVO DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS BACIAS DOS RIOS JURUÁ E PURUS – REGIÃO AMAZÔNICA

Edileuza Carlos de Melo¹
 Naziano Pantoja Filizola Jr.²
 Jean Loup Guyot³

Considerando a importância das bacias hidrográficas como um sistema e uma unidade de monitoramento ambiental, o presente trabalho segue a metodologia de caracterização morfométrica de bacias hidrográficas, com o objetivo de caracterizar a dinâmica dos rios a partir do canal principal, seguido pela correlação entre eles a partir de parâmetros específicos. As bacias dos rios Purus e Juruá tiveram a definição dos índices morfométricos fazendo uso de técnicas de geoprocessamento. Com a discretização das bacias dos rios Purus e Juruá, foi possível verificar características que mostram pouca suscetibilidade a enchentes,

¹ Edileuza Carlos de Melo é geóloga, aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA e Universidade do Estado do Amazonas – UEA. Manaus – AM, Brasil.

edileuza_melo@hotmail.com

² Naziano Pantoja Filizola Jr. é geólogo, doutor, professor da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, curso de Geografia. Manaus – AM, Brasil.

filizola@ufam.edu.br

³ Jean Loup Guyot é doutor, Diretor do Institut de Recherche pour le Développement – IRD. Brasília – DF, Brasil.

guyot@ird.fr

baixa capacidade de drenagem. A definição das unidades de resposta hidrológica foi obtida pela reclassificação dos tipos de solos e de uso e cobertura vegetal, sendo a classe de floresta em solo profundo a que apresentou o maior percentual de ocorrência.

Introdução

A mensuração e a análise matemática da configuração da superfície terrestre quanto à forma e às dimensões de sua paisagem são usadas nas estimativas dos índices morfométricos de uma bacia hidrográfica. A morfometria é uma importante ferramenta de apoio às análises hidrológicas ou ambientais, e tem a finalidade de elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem são terminologias utilizadas para caracterizar áreas superficiais cujas feições do terreno determinem processos específicos, entre eles a drenagem superficial de água de chuva e sedimentos carreados, originados de pontos distintos a montante e com destino comum à jusante. Estes materiais podem se depositar pelo trajeto ou se agregarem aos cursos de ordem superior ou ao oceano¹.

A água constituinte do deflúvio superficial de uma bacia hidrográfica é originada de diversas fontes, principalmente da precipitação, do lençol freático e do escoamento superficial, ou ainda de outras bacias por meio do aporte subterrâneo. Os sedimentos podem incluir todo material particulado arrastado, o que se aplica a solos, sedimentos de diferentes granulometrias e matéria orgânica, sendo este um dos processos morfogenéticos mais dinâmicos de modelagem da paisagem terrestre².

Neste contexto, as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre³.

As unidades de resposta hidrológica representam unidades de paisagem que representam comportamento hidrológico semelhante, sendo normalmente definidas a partir da combinação de tipos de solo, cobertura vegetal e uso do solo de uma mesma região.

Deste modo, este trabalho aborda as etapas da caracterização morfométrica das áreas de contribuição hidrológica dos rios Purus e Juruá, por meio de hierarquia fluvial, análise linear, análise areal, análise hipsométrica, perfil longitudinal e discriminação de áreas com comportamento hidrológico similar, resultantes da combinação de tipos de solos com tipos de vegetação ou uso da terra.

O estudo comparativo dos índices morfométricos e a definição de unidades de resposta hidrológica, tendo o suporte de técnicas de Geoprocessamento trabalhadas em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o emprego de técnicas de processamento digital de imagens, constituem um instrumento adequado para analisar a variabilidade espacial das características físicas das sub-bacias hidrográficas escolhidas.

Metodologia de Trabalho

Caracterização da Área

As áreas de contribuição hidrológica selecionadas para estudo estão compreendidas pelas estações da Agência Nacional de Águas (ANA), apresentadas na Tabela 1.

Metodologia

O MDE SRTM no formato ASCII foi convertido para o formato grid (RASTER) no ArcGIS usando a ferramenta de conversão de dados do ArcMap.

Com as ferramentas do ArcHydro e com base na metodologia adotada⁴, foi realizada a análise de terreno no MDE SRTM, para gerar dados da direção de fluxo (*flow direction*), área acumulada (*flow accumulation*), definição da drenagem (*Stream definition*), segmentação da drenagem (*Stream segmentation*) e delimitação de bacias (*Watershed delineation*). Esses dados foram, então, utilizados para delimitar as áreas de contribuição hidrológica e gerar a rede de drenagem.

O cálculo das direções de fluxo foi realizado com base no método D8 (Eight Direction Pour Point Model), o qual assume que a água flui de uma das células para uma das 8 células adjacentes. A cada célula é atribuído um valor de acordo com a regra do caminho mais íngreme.

Com base no arquivo raster de direções de fluxo, foi calculada a área de drenagem de cada célula do MDE. O arquivo gerado contém o número de células que drenam para cada célula de uma grade de entrada.

A definição da rede de drenagem foi gerada a partir da reclassificação dos valores das células do raster de área acumulada, e, a partir deste, foi gerado outro arquivo em que as células contêm um valor igual a “1”, caso pertençam à rede de drenagem.

O arquivo raster da rede de drenagem foi segmentado em trechos individuais localizados entre duas confluências sucessivas, ou entre o início da rede de drenagem e a próxima confluência. A partir deste arquivo e do arquivo da direção de fluxo, foi criada a rede de drenagem vetorial.

Para delimitação das duas áreas de contribuição hidrológica, primeiro foi definido um ponto na drenagem como o exutório, representado pelas estações pluviométricas mais à jusante, correspondendo à estação Arumã-jusante e Gavião, localizadas nos rios Purus e Juruá, respectivamente. Foi gerado um polígono com o divisor de água da bacia até o último ponto de interesse (extremo de jusante da bacia).

A partir dessas informações geradas, as características morfométricas foram calculadas e analisadas em relação à geometria, ao relevo e à rede de drenagem. Na Tabela 3, estão relacionadas as características morfométricas e os correspondentes tipos de análises.

As fórmulas utilizadas para calcular as características morfométricas são encontradas em^{5, 6, 7, 8, 9}.

A obtenção das características morfométricas e os tipos de análises para área de estudo foram calculados no ambiente de SIG, considerando o seguinte:

a) A área, o perímetro, o comprimento do canal principal, a linha reta entre a nascente e a foz do canal e o comprimento das drenagens (dados que servem de base para a análise morfométrica) foram obtidos por meio de ferramentas dentro do Sistema de Informação Geográfica, em que é possível escolher o sistema de medidas adotadas. Com o comando de calcular esses parâmetros, o programa envia automaticamente os dados ligados à topologia de referência (polígonos e linhas) para uma tabela que os armazena. Dessa forma, os dados obtidos a partir da topologia georreferenciada ficam armazenados em forma de banco de dados, sendo possível acessar essas informações e analisá-las.

b) A partir dos dados básicos de medidas nas duas áreas, foi possível calcular outros parâmetros que dependem diretamente deles. Parâmetros, como índice de circularidade, coeficiente de compacidade e densidade de drenagem, foram calculados por intermédio de fórmulas e metodologias pré-estabelecidas encontradas nos autores já citados.

c) Já o volume do relevo e a declividade média necessitaram do uso de imagem SRTM, que possui informação de altitude do terreno (topográficas) em cada pixel,

possibilitando a geração automática do cálculo de volume do relevo presente em cada bacia a partir da identificação de um plano de referência. Enquanto isso, a declividade média foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação – DEM do SRTM em formato grid na projeção geográfica UTM, onde dentro do SIG, a partir do qual, com o auxílio de ferramentas de análise 3D, gerou-se um modelo de declividade. Posteriormente, esse modelo foi reclassificado para discretizar seus valores contínuos em classes temáticas. Com o raster temático disponível, foi possível convertê-lo para um mapa temático de classes de declividade em formato vetorial. A partir do cálculo das áreas das classes, foi possível calcular a declividade média da bacia.

d) Com a SRTM, também foi possível gerar os gráficos de perfil longitudinal dos canais principais. Utilizando as informações topográficas dos *pixels* e a tabela com a informação da distância dos seguimentos da hidrografia, foi possível representar graficamente o comprimento e a altitude do canal principal de cada área de contribuição hidrológica, relacionando, no eixo X, a distância e, no eixo Y, a altitude.

Tabela 3 – Características morfométricas e tipos de análises.

Características	Tipo de Análises
1. Geométricas	Área total Perímetro total Coeficiente de compactidade (Kc) Fator de forma (F) Índice de circularidade (IC)
2. Relevo	Orientação Declividade mínima Declividade média Declividade máxima Altitude mínima Altitude média Altitude máxima Declividade média do curso d'água principal
3. Rede de drenagem	Comprimento do curso d'água principal Comprimento total dos cursos d'água Densidade de drenagem (Dd) Ordem dos cursos d'água

Fonte: TONELLO (2005)⁵.

Para definição das unidades de resposta hidrológica, foram consideradas as características físicas relacionadas aos tipos de solos e cobertura vegetal.

Nesse sentido, os tipos de solos foram reclassificados em classes de solos que apresentam tendência a gerar mais escoamento superficial, classificados como solos rasos, e classes de solos com tendência a gerar menos escoamento superficial, classificados como solos profundos.

Os tipos de vegetação e uso do solo também foram reclassificados com a finalidade de reduzir o número de classes, agrupando em classes com baixa densidade de vegetação, alta densidade de vegetação e uso.

Com os dados de solo, cobertura vegetal e uso reclassificados, foi gerada uma classificação cruzada para representar todas as combinações possíveis para esses dados e, assim, chegar às unidades de resposta hidrológica para as duas áreas de contribuição hidrológica.

Após a geração das informações nas etapas de discretização e de definição de unidades de resposta hidrológica, as representações temáticas foram transformadas em mapas organizados com apoio do aplicativo ArcMap.

Resultados e Discussão

Com os valores gerados por meio de técnicas de geoprocessamento usando produtos de sensoriamento remoto, foi possível espacializar dados e informações por intermédio da geração de tabelas e mapas que os representam.

A partir da delimitação da área de estudo usando imagem SRTM, foram obtidos os dados necessários para o cálculo dos parâmetros e a confecção dos mapas. As duas áreas selecionadas para o estudo foram representadas de forma espacializada na Figura 2 abaixo, usando o aplicativo Global Mapper v9.03.

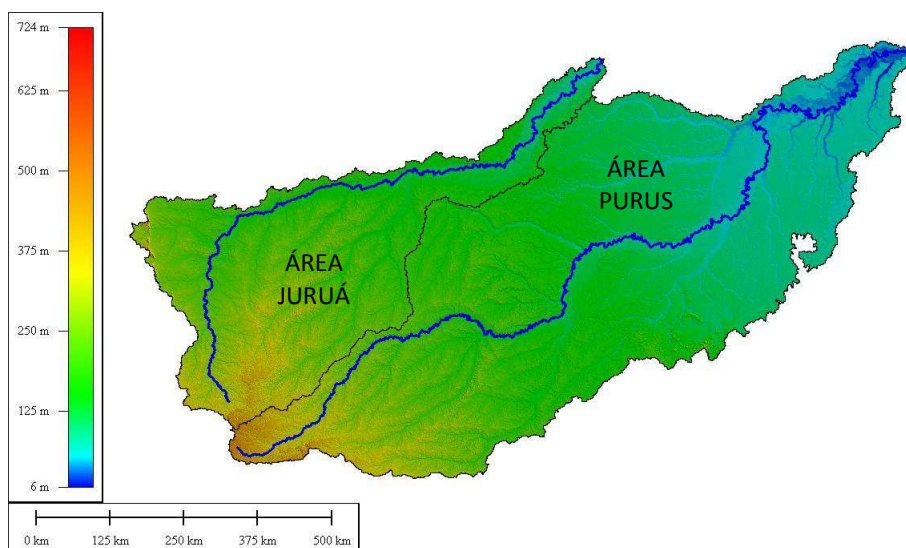


Figura 2 – DEM SRTM das áreas de contribuição hidrológica dos rios Purus e Juruá.

Com a área de estudo delimitada, foi possível gerar os parâmetros morfométricos descritos anteriormente. Para subsidiar a análise morfométrica dessa área, as medidas lineares e os parâmetros foram dispostos em tabelas, como forma de facilitar uma futura análise comparativa. Assim, os valores obtidos estão inseridos na Tabela 4, separados por área de contribuição hidrológica.

Tabela 4 – Medidas lineares e parâmetros morfométricos.

Item	Áreas de contribuição hidrológica	
	Rio Purus	Rio Juruá
Área Total (km ²)	370091,13	166469,76
Perímetro (km)	6252,07	4256,94
Canal Principal Total (km)	2765,65	1579,91
Comprimento Axial (km)	1340,64	922,85
Largura (km)	457,3	82,23
Coefficiente de compacidade	2,88	2,92
Fator de forma	0,21	0,20
Índice de circularidade	0,12	0,12
Densidade de drenagem (km/km ²)	0,06	0,05
Altitude Máxima (m)	420,87	324,57
Altitude Média (m)	224,38	202,01
Altitude Mínima (m)	27,89	79,45
Declividade Máxima (%)	24,5	27,73
Declividade Média (%)	1,24	2,30
Declividade Mínima (%)	0	0
Orientação do Relevo	Sul (45785,97) Norte (93324,39)	Sul (16626,35) Norte (47113,11)

Verifica-se que o valor areal das duas áreas de contribuição é completamente diferente, tendo a do Purus aproximadamente o dobro da área do Juruá, representadas, respectivamente, por 370.091,13 km² e 166.469,76 km². Além disso, possuem algumas características que mostram pouca suscetibilidade a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, pelo fato de apresentarem valores de coeficiente de compacidade afastados da unidade e fator de forma baixo.

Assim, há indicação de que as áreas não possuem forma circular, possuindo, portanto, uma forte tendência à forma alongada. Tal fato pode ainda ser comprovado pelo valor do índice de circularidade apresentado para cada área, que possuem o mesmo valor (0,12). Valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento¹⁰.

A densidade de drenagem encontrada para as duas áreas foi de 0,06 km/km² para Purus e 0,05 km/km² para Juruá. De acordo com^{8,9}, este índice pode variar de 0,5 km/km², em bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que as áreas estudadas possuem baixa capacidade de drenagem.

A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia, pois esses valores contribuem para o planejamento da bacia hidrográfica. De acordo com a hierarquia de Strahler, o sistema de drenagem para a área do Purus possui ramificação de 5.^a ordem, e, de 4.^a ordem, para área do Juruá. Essas medidas são encontradas na Tabela 5 e sua representação espacial na Figura 3.

Tabela 5 – Hierarquia e mensuração dos canais.

Ordem de Strahler	Rio Purus			Rio Juruá		
	Quantidade	Medida (km)	Média (km)	Quantidade	Medida (km)	Média (km)
1 ^a	393	10046,17	25,56	186	4432,98	23,83
2 ^a	189	5308,48	28,09	94	2317,18	24,65
3 ^a	114	3030,08	26,58	65	1406,40	21,64
4 ^a	54	1642,51	30,42	26	834,89	32,11
5 ^a	35	1016,27	29,04	-	-	-
Total	785	21043,52	139,68	371	8991,45	102,23

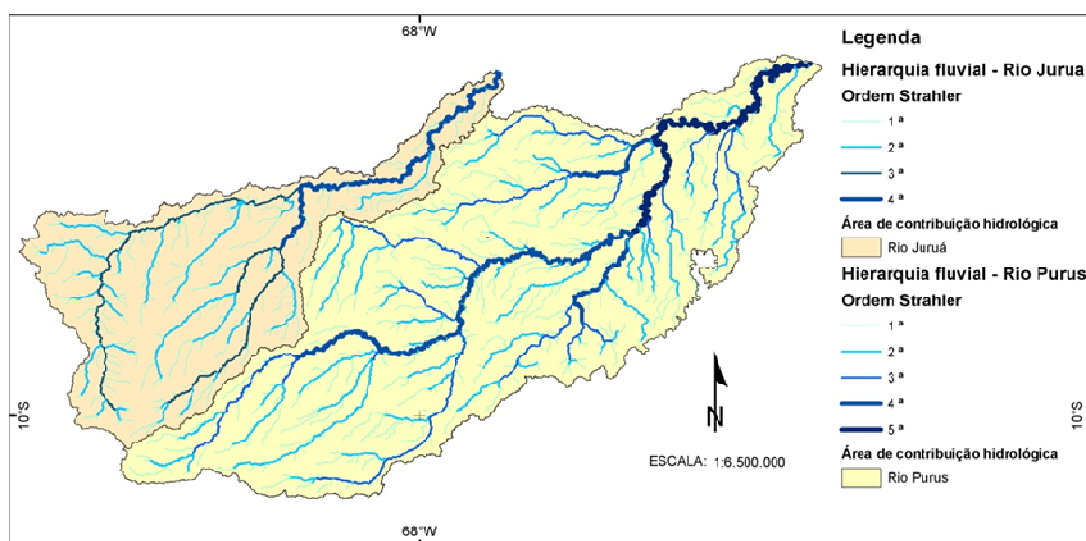


Figura 3 – Hierarquia fluvial.

Utilizando as informações topográficas dos *pixels* e a tabela com a informação da distância dos seguimentos da hidrografia, foi possível relacionar, em um gráfico cartesiano, a distância e a altitude do canal principal de cada área de contribuição, expressos nos gráficos da Figura 4.

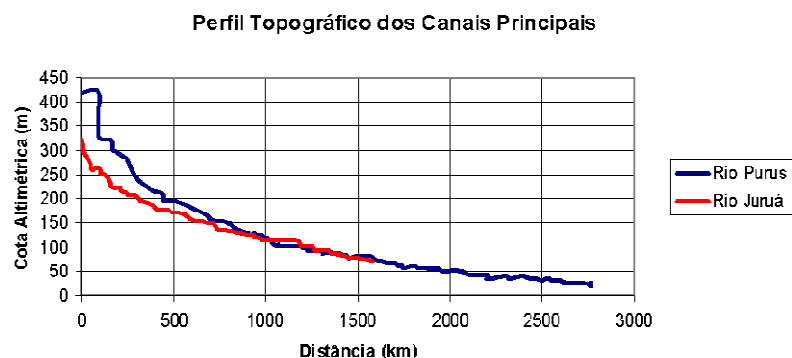


Figura 4 – Perfis gerados a partir dos canais principais dos rios Purus e Juruá.

Com base nos perfis topográficos dos canais principais dos rios Purus e Juruá, na Figura 3, verificou-se que o comportamento de ambos é muito semelhante em relação à altitude, diferindo no tamanho da área de drenagem e na extensão. O rio Purus apresenta comprimento de 2.765,65 km em uma área de 370.091,13 km² e, o Juruá, uma extensão de 1.579,91 km em uma área de 166.469,76.

O mapa hipsométrico (Figura 5) demonstra que as duas áreas de contribuição possuem altitudes que vão de 0 a 100 m, próximo à foz, de 100 a 200 metros, no centro das áreas e, nas suas extremidades, acima de 300 m. Em uma pequena área a montante, a altitude chega próximo a 500 metros.

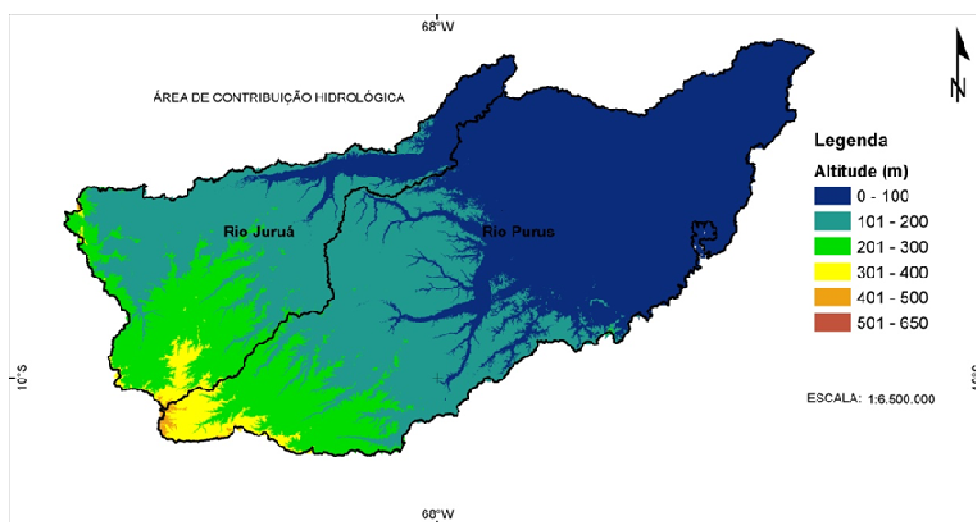


Figura 5 – Mapa Hipsométrico.

Em uma análise da declividade das duas áreas, os resultados apresentados na Tabela 6 e na Figura 6, em geral, mostram a ocorrência de baixa declividade. Na região do rio Purus, em 85,45% da área, predomina as declividades de 0 a 2%. Já na região do rio Juruá, em 94,73% da área, estão presentes as declividades que vão de 0 a 4%.

A Figura 7 mostra o mapa de orientação do terreno, utilizado para indicar o fator de incidência solar na bacia, o que pode afetar as relações de precipitação e deflúvio. Segundo¹¹,

bacias com relevo norte apresentam maiores taxas de deflúvio quando comparadas as de relevo sul, sendo no caso das duas áreas o destaque para orientação norte.

Tabela 6 – Declividade em área de cada classe, porcentagem e média das áreas de contribuição hidrológica.

Áreas de contribuição hidrológica						
Classes de Declividade	Rio Purus			Rio Juruá		
	Área (km ²) por classe de declividade	Porcentagem da área de cada classe (%)	Declividade Média (%)	Área (km ²) por classe de declividade	Porcentagem da área de cada classe (%)	Declividade Média (%)
0 - 2	316229	85,45	85,45	60395,35	36,28	36,28
2 - 3	48719	13,16	32,91	63948,25	38,41	96,0
3 - 4	4059	1,10	3,84	33355,10	20,04	70,13
4 - 6	764	0,21	1,03	8285,02	4,98	24,88
6 - 10	251	0,07	0,54	412,01	0,25	1,98
>10	69	0,02	0,32	74,03	0,04	0,84

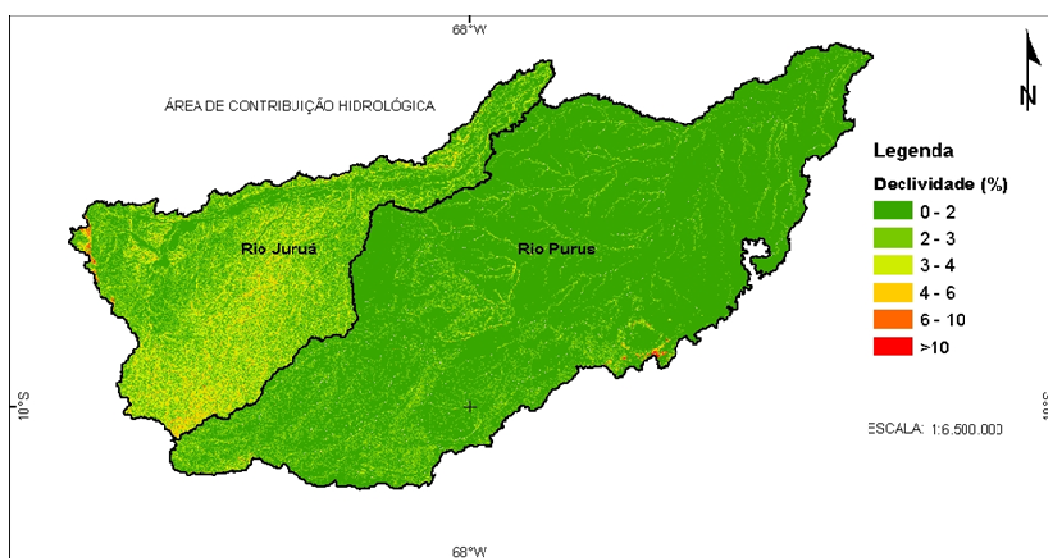


Figura 6 – Declividade do terreno.

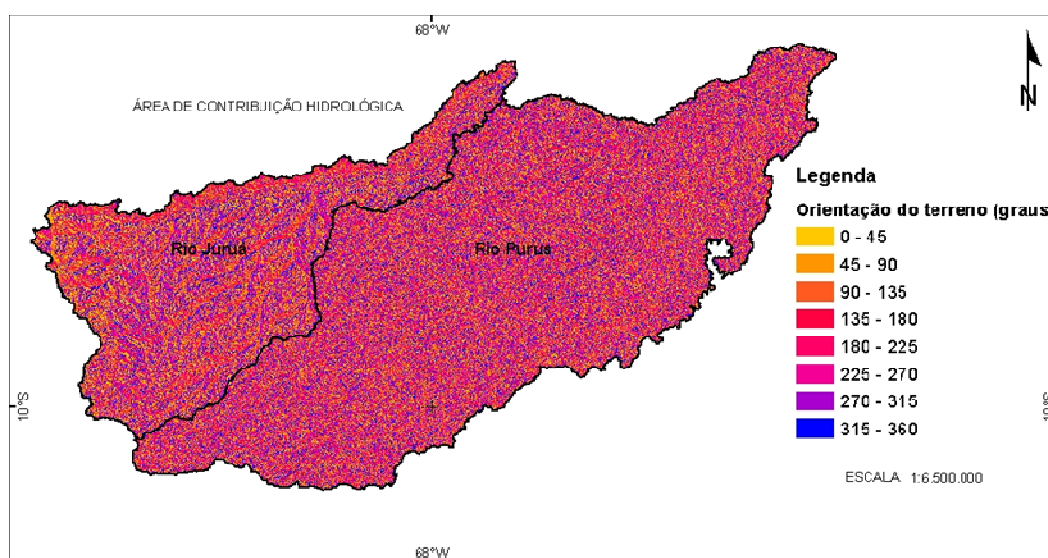


Figura 7 – Orientação do terreno.

Para definição das unidades de resposta hidrológica da área de estudo, foram utilizados os dados de Solo do projeto RADAM/Embrapa e de Uso do solo e Cobertura vegetal disponibilizado pelo RADAM/IBGE. As classes de ambos os mapas foram reclassificadas para facilitar a definição das unidades.

O solo da área de estudo, apresentado na Figura 8, é caracterizado por doze tipos de solos, que são: Cambissolo, Gleissolo, Latossolo, Plintossolo, Podzólico, Solo Aluvial e Solo Litólico. Desses, os mais importantes, em função da área que ocupam, são os Podzólicos (Argissolos) e os Gleissolo/Fluvisso.

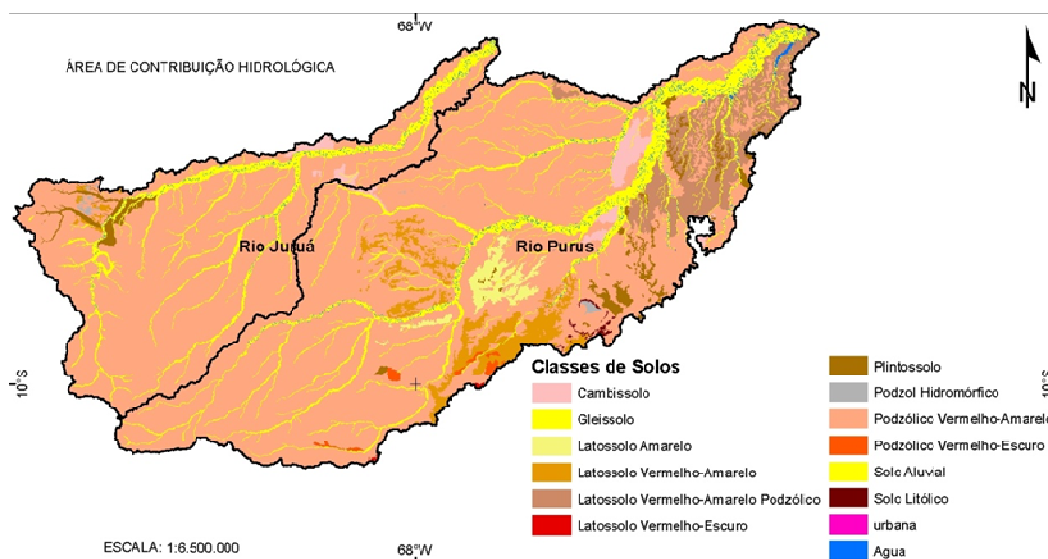


Figura 8 – Solos. Fonte: RADAM/IBGE.

Também são considerados importantes os Cambissolo/Neossolo, que ocupam uma área menor, mas que exercem um importante papel hidrológico porque são rasos e tendem a gerar mais escoamento superficial. Outro solo que também ocupa uma área pequena é o Latossolo. Este solo pode ser considerado como uma categoria de solo com tendência a gerar menos escoamento superficial e foi agrupado em uma categoria denominada "solos profundos".

Os Cambissolos/Neossolos são solos mais rasos, com tendência a gerar mais escoamento superficial. Esses solos foram agrupados em uma categoria denominada "solos rasos".

Os Gleissolos são solos que ocorrem em várzeas e apresentam o lençol freático próximo da superfície. Esses solos podem gerar escoamento superficial quando saturados. Pela sua pequena presença na área de estudo, eles foram agrupados à categoria "solos rasos".

Os Podzólicos (Argissolos) podem ser considerados como uma categoria de solos com tendência a gerar menos escoamento superficial. Esses solos foram agrupados em uma categoria denominada "solos profundos".

A Tabela 7 mostra a reclassificação dos tipos solo que ocorrem na área de estudo.

Tabela 7 – Reclassificação de tipos de solos.

Solos	Reclassificação 1	Reclassificação 2	Reclassificação 3
Cambissolo	Cambissolo_Neossolo	Cambissolo_Neossolo	Solos rasos
Gleissolo	Gleissolo_Fluviossolo	Gleissolo_Fluviossolo	Solos rasos
Latossolo Amarelo	Latossolo	Latossolo	Solos profundos
Latossolo Vermelho-Amarelo	Latossolo	Argissolo	Solos profundos
Podzólico	Latossolo		
Latossolo Vermelho-Escuro	Latossolo		
Plintossolo	Cambissolo_Neossolo		
Podzol Hidromórfico	Argissolo		
Podzólico Vermelho-Amarelo	Argissolo		
Podzólico Vermelho-Escuro	Argissolo		
Solo Aluvial	Cambissolo_Neossolo		
Solo Litólico	Cambissolo_Neossolo		

Como resultado da reclassificação, a Figura 9 mostra as classes de solo agrupadas em duas categorias: solos profundos e solos rasos.

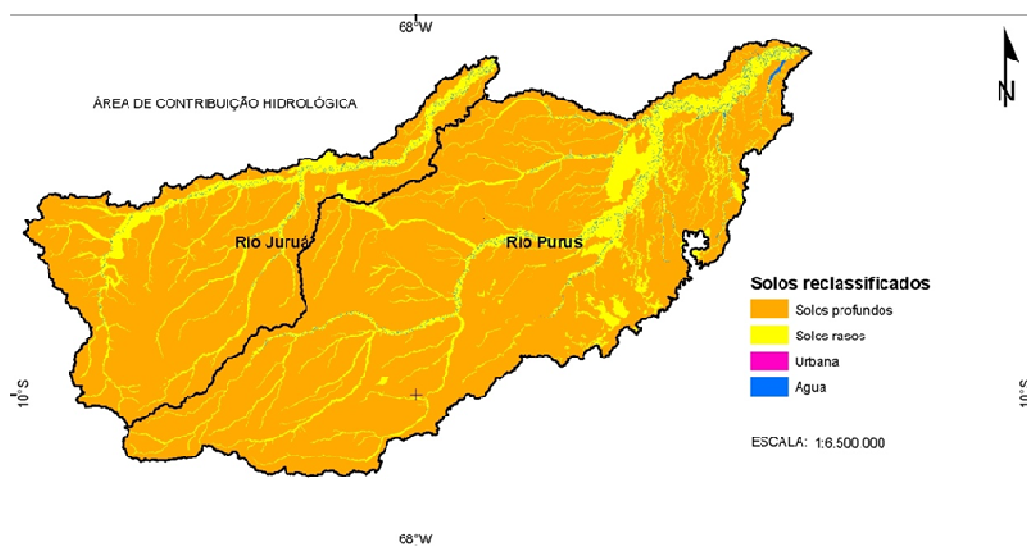


Figura 9 – Solos reclassificados.

O mapa de Uso do solo e Cobertura vegetal é apresentado na Figura 10. Para reduzir o número de classes, também foi necessário fazer uma reclassificação.

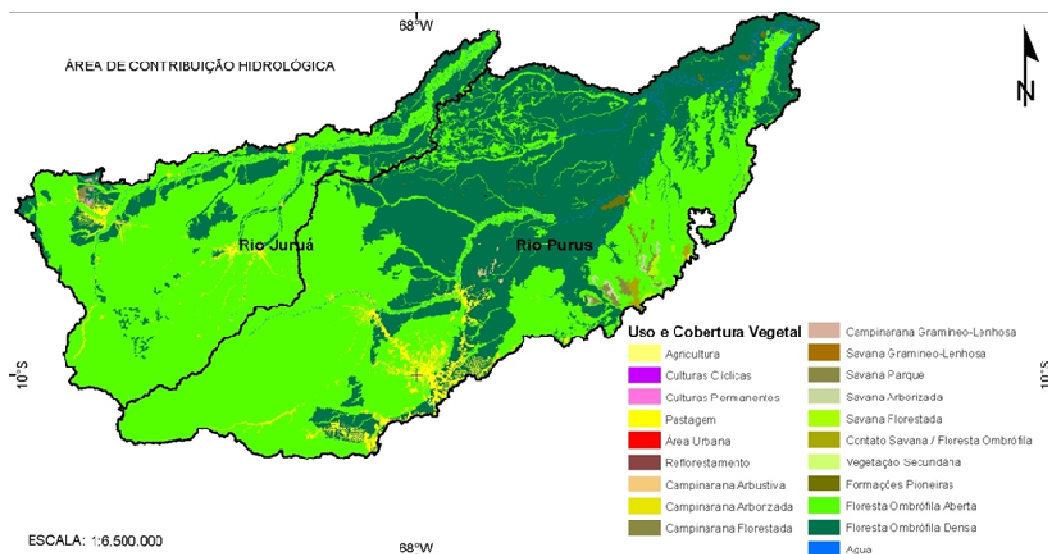


Figura 10 – Uso do solo e cobertura vegetal. Fonte: RADAM/IBGE.

Na área de estudo, as áreas de agricultura, culturas cíclicas, culturas permanentes, pastagem e de reflorestamento podem ser fundidas em uma única classe, que representará as áreas com baixa densidade de vegetação, onde parâmetros, como o albedo, podem ser razoavelmente definidos, com base em valores disponíveis em publicações. Assim, essas classes foram reclassificadas para Agricultura.

As classes de Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Formações Pioneiras representam a maior porção da área da bacia e foram reclassificadas como floresta.

Na Tabela 8, estão relacionadas as classes originais e a reclassificação.

Tabela 8 – Reclassificação das classes de Uso do solo e Cobertura vegetal.

Classes de Uso e Cobertura vegetal	Reclassificação
Agricultura	Agricultura
Campinarana Arborizada	Floresta
Campinarana Arbustiva	Savana
Campinarana Florestada	Urbana
Campinarana Gramíneo-Lenhosa	
Contato Savana / Floresta Ombrófila	
Culturas Cíclicas	
Culturas Permanentes	
Floresta Ombrófila Aberta	
Floresta Ombrófila Densa	
Formações Pioneiras	
Pastagem	
Reflorestamento	
Savana Arborizada	
Savana Florestada	
Savana Gramíneo-Lenhosa	
Savana Parque	
Vegetação Secundária	
Urbana	

Como resultado da reclassificação, a Figura 11 mostra as classes de Uso do solo e Cobertura vegetal agrupadas nas classes agricultura, floresta e savana.

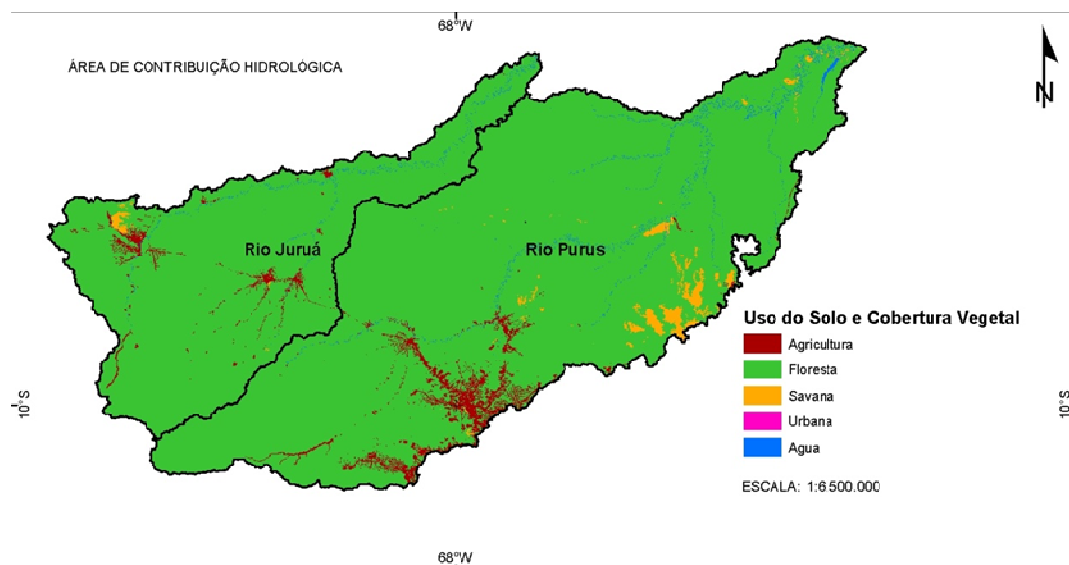


Figura 11 – Uso do solo e cobertura vegetal reclassificado.

Com os mapas reclassificados, foi realizada a combinação de tipos de solos e tipos de uso e cobertura vegetal. A forma utilizada para combinar essas classes foi uma classificação cruzada, em que o mapa resultante mostra todas as combinações possíveis dos mapas de entrada.

As unidades de resposta hidrológica definidas após a combinação das classes reclassificadas podem ser visualizadas na Figura 12. Essa combinação resultou em seis classes, que foram denominadas de: floresta em solo profundo, floresta em solo raso, savana em solo profundo, savana em solo raso, agricultura em solo profundo e agricultura em solo raso.

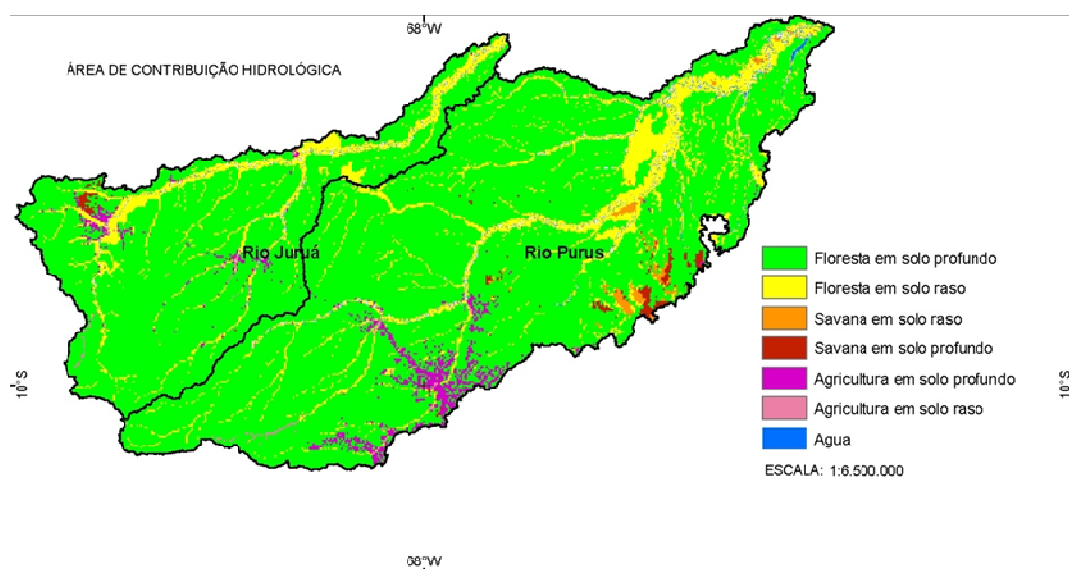


Figura 12 – Unidades de resposta hidrológica.

A classe de floresta em solo profundo destaca-se com maior percentual de ocorrência, tanto para área de contribuição hidrológica do Purus quanto do Juruá.

A seguir, os percentuais de ocorrência das unidades de resposta hidrológica são encontrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Percentual de ocorrências das unidades de resposta hidrológica.

URH	Juruá Área (km ²)	%	Purus Área (km ²)	%
Floresta em solo profundo	139762,64	83,96	313434,3	84,69
Floresta em solo raso	22413,87	13,46	41114,22	11,11
Savana em solo raso	10,20	0,01	3129,73	0,85
Savana em solo profundo	654,65	0,39	2160	0,58
Agricultura em solo profundo	2691,45	1,62	9025,66	2,44
Agricultura em solo raso	936,95	0,56	1227,22	0,33

Conclusões

A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos para as áreas de contribuição hidrológica dos rios Purus e Juruá permitiram concluir que, em função de sua forma alongada e associados à baixa capacidade de drenagem e ao relevo suave, essas áreas são pouco susceptíveis à inundação quando são considerados somente os parâmetros de fator de forma, índice de compacidade e índice de circularidade e com precipitação pluviométrica normal.

A utilização de SIGs é uma medida confiável para estudos ambientais, uma vez que o uso de dados georreferenciados garante precisão cartográfica e matemática, visualização de fatores, geração e correlação de temas e ganho de tempo.

As ferramentas para análise de modelos digitais de elevação foram utilizadas para geração de base cartográfica confiável e também para obtenção de informações úteis em hidrologia.

A definição da unidade de resposta hidrológica é importante para ajudar a entender seu comportamento hidrológico, independentemente de sua localização na área de estudo. Essas unidades são resultado da combinação única de tipo de solo e de uso da terra.

Considerando que o assunto abordado faz parte da geomorfologia quantitativa, as técnicas de análise morfométrica são de grande valia para a análise da morfogênese de uma área, sobretudo quando podem ser comparadas com dados obtidos em campo e tratados com técnicas sofisticadas de geoprocessamento.

Tais resultados são parte integrante de um estudo mais abrangente, que busca identificar os principais fatores de controle dos processos erosivos das áreas de contribuição hidrológica dos rios Purus e Juruá.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia e Universidade do Estado do Amazonas. Ao JEAI, Jaunne Equipe Assoice a l'IRD, fruto da cooperação internacional existente entre Brasil e França, sendo, pelo Brasil, a UEA e, pela França, o Instituto Francês de Pesquisas para o Desenvolvimento (IRD), órgão do Governo Francês que atua na Bacia Amazônica em cooperação desde os anos 1990. Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Centro de Energia, Ambiente e Biodiversidade (CEAB) e as agências financiadoras (FAPEAM, CNPq, CAPES, BNDES).

Notas

1. SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003. 140p.
2. CHRISTOFOLLETI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.
3. PISSARA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciências do Solo**, Viçosa, n. 28, p.297-305, 2004.
4. FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; KAYSER, R. Manual Arc-Hydro para aplicação do modelo MGB-IPH, Versão 2.0. **Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico**. 2010.
5. TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
6. ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, jun. 2007.
7. CRISTOFOLLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Rev. Geomorfol**, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
8. VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGrawHill do Brasil, 1975. 245p.
9. CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.
10. MULLER, C. V. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. **Technical Report**, Department of Geology, Columbia University, 1983.
11. LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba, SP: USP – ESALQ, 2008.

3.6 Análise da vulnerabilidade à erosão e fluxo de sedimentos em suspensão

O artigo intitulado *Amazonian lowland erosion vulnerability and suspended sediment yields*, foi encaminhado, em janeiro de 2012, para a revista *International Journal of Sediment Research* (IJSR), na edição especial intitulada *Sediment loads and processes in large rivers*. O referido artigo tem como autores Edileuza Carlos de Melo, Naziano Pantoja Filizola e Jean Loup Guyot, Carlos Beisl e Fernando P. Miranda. Além de contribuir com os estudos na temática da erosão, o artigo faz uma análise dos principais fatores que controlam a vulnerabilidade à erosão e o fluxo de sedimentos nas áreas de contribuição hidrológica dos rios Juruá e Purus, dois importantes tributários do rio Amazonas. A modelagem da interação desses fatores foi baseada em dados observacionais e fisiográficos, fazendo uso de geotecnologias e análises numéricas. A utilização das geotecnologias permitiu integrar bases de dados de diferentes fontes e formatos para caracterizar os fatores naturais e antrópicos dessas áreas, representadas pelas estações Seringal Fortaleza, Lábrea, Arumã-jusante, Cruzeiro do Sul, Eirunepé-montante e Gavião.

O referido artigo é apresentado seguindo a formatação da revista.

ARTIGO 6

AMAZONIAN LOWLAND EROSION VULNERABILITY AND SUSPENDED SEDIMENT YIELDS

Edileuza C. MELO¹; Naziano. FILIZOLA²; Jean L. GUYOT³; Carlos. BEISL⁴ and Fernando P. MIRANDA⁵

Abstract. This paper analyzes the main factors that control vulnerability to erosion and suspended sediment yields in six hydrological contribution areas of the Juruá and Purus Rivers, which are two major tributaries of the Amazon River. Geotechnological methods and numerical analyses were used to model the interaction of these factors based on observational and physiographic data. Data from different sources and in multiple formats were integrated to characterize the natural and anthropogenic factors affecting these areas. Vulnerability indices were defined based on the relative empirical values of the relationship between morphogenesis and pedogenesis for each of the following variables: geology, geomorphology,

¹ Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA – Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Manaus, Brasil.

² Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, Brasil.

³ Institut de Recherche pour le Développement – IRD, Brasília, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

⁵ Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil.

pedology, vegetation, land use and climate. The integration of these vulnerability indices was performed using map algebra. Hydrosedimentological scenarios were generated based on a spatial analysis of the factors controlling the liquid discharge (Q), solid discharge (Qs), solid flow budget and specific production of sediment at six locations; three sites were located along the Purus River, and three sites were located along the Juruá River. For both the suspended sediment and liquid discharge scenarios, we calculated and analyzed data using an interannual approach with the adopted period as an independent variable. The hydrological regime series from the 1970s was obtained, and the calculation of Qs considered only periods with compatible Q measures and sediment samples. Using the results, we correlated the vulnerability of each contribution area to the suspended sediment yield and determined sedimentation rates of approximately 30% in the Purus River and 116% in the Juruá River.

Keywords: sedimentology, Amazon, erosion, vulnerability, Amazon basin.

1. Introduction

Each river basin exhibits a unique hydrosedimentological behavior associated with the natural processes of sediment production and deposition, both of which are strongly influenced by the physiography (e.g., the geology, topography, soils, vegetation, climate and other factors). Human activities can cause changes in the sediment flow within a basin (Bordas and Semmelmann, 2002).

In fluvial systems, rivers export much of the material that is subjected to the process of erosion, both in the dissolved and particulate form. Particles are transported in the form of suspended matter (SM) or via bottom transport (drag transport). The inorganic compounds of suspended matter, which are usually expressed in $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, include silt, clay and, less often, sand (depending on the sedimentological classification system that is used). By definition, these suspended compounds move at the same rate as the current (Filizola and Guyot, 2007).

The motivation for studying this process in the Purus and Juruá Rivers, both of which are important rivers of the Amazon basin, is based on the erosion process that begins in the Andean chain and the sedimentation that occurs along these rivers (Figure 1).

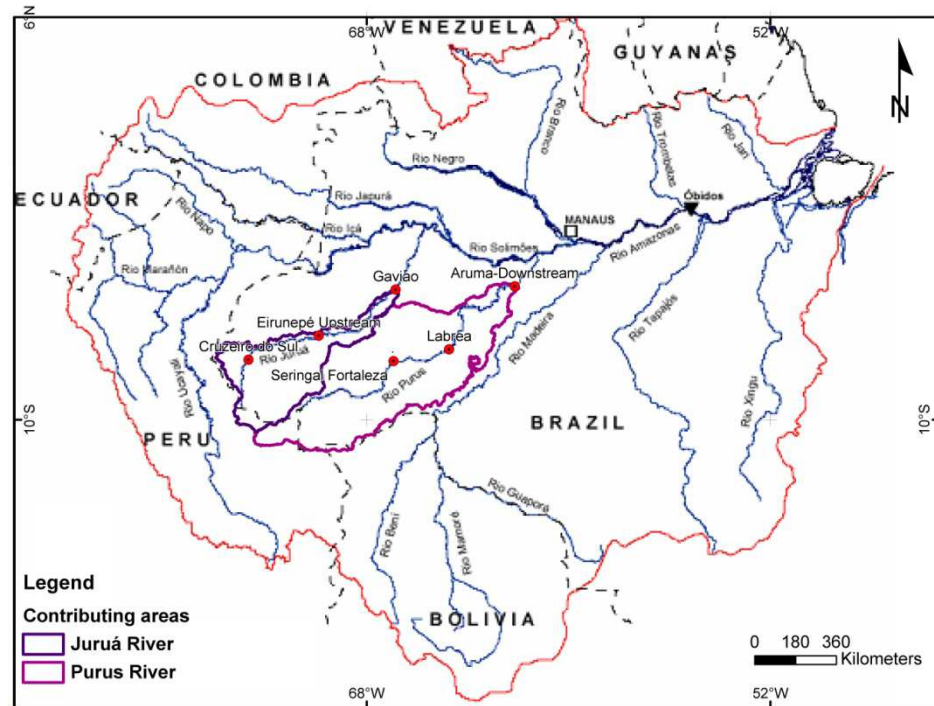


Figure 1. Locations of the areas of hydrological contribution along the Purus and Juruá Rivers.

Recent SM flow data indicate that significant longitudinal variations exist in both rivers (Filizola and Guyot, 2009). These variations appear to signal the current state of fluvial morphology evolution, which may be influenced by the Fitzcarrald Arch. In this study, sedimentometric data and topographic satellite imagery were used in a preliminary assessment of the possible association between the factors controlling the flow and the fluvial dynamics of the Purus and Juruá rivers.

This study was conducted using observational data, historical records and analytical tools based on geotechnology. In addition to contributing to our understanding of erosion, this study provides specific observations regarding the factors that control SM flow in the Purus and Juruá Rivers based on the delimitation of six hydrological contribution areas represented by the following stations: Seringal Fortaleza, Lábrea, Arumã-Downstream, Cruzeiro do Sul, Eirunepé-Upstream and Gavião.

2. Methodology

The delineation and extraction of the hydrological contribution areas followed the methodology described by Fan and Collischonn (2009). This methodology includes the use of digital elevation models (DEMs) from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), extraction of the river network from the SRTM image mosaic and the use of digital theme maps from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística, IBGE) and the Research Company for Mineral Resources (Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, CPRM). Hydrological stations were used as boundaries for the flow accumulation areas. Data processing was performed using ArcGis, Global Mapper and Microsoft Excel software.

The SRTM DEM was converted from an American Standard Code for Information Interchange (ASCII) format to a grid format (RASTER) in ArcGis using the data conversion tool in ArcMap.

Terrain analyses were performed on the SRTM DEM using the ArcHydro tools to generate data on flow direction, flow accumulation, stream definition, stream segmentation and watershed delineation. These data were then used to define the hydrological contribution areas and generate the drainage network.

Flow direction calculations were performed using the eight-direction pour point model (D8) method, which assumes that water flows from one cell to one of eight adjacent cells. Each cell is assigned a value according to the steepest path rule.

The drainage area of each cell in the DEM was calculated based on the flow direction raster file. This process generated a file containing the number of cells draining to each cell of a cell grid.

The drainage network was defined based on the reclassification of the raster cell values of flow accumulation. From this analysis, an additional file was generated in which each cell had a value of "1" if it belonged to the drainage network.

The raster file of the drainage network was then segmented into individual sections, each of which was located either between two successive confluences or between the beginning of the drainage network and the next confluence. The vector drainage network was created from this file together with the flow direction file.

For the delineation of the six hydrological contribution areas considered in this study, an initial point was defined in the drainage exutory, which is represented by the rainfall stations further downstream. These rainfall stations correspond to the Arumã-Downstream and Gavião stations located in the Purus and Juruá Rivers, respectively. A polygon was then generated that included both the watershed and the last point of interest (i.e., the farthest downstream point within the basin).

The results obtained using data from the SRTM DEM were compared with those obtained according to the methodology of Seyler et al. (2009), which incorporates the United States Geological Survey (USGS) global topographic (GTOPO30) digital elevation model and JERS1 satellite image mosaics.

In this study, SM and (interannual) flow (Q) data were obtained from the Hydrology and Geochemistry Program of the Amazon (Programa Hidrologia e Geoquímica da Amazônia, HiBAm), and the National Water Agency (Agência Nacional de Águas, ANA) for stations along the Juruá and Purus Rivers. These data were collected, processed and analyzed according to Filizola (2003) and Filizola and Guyot (2009). The ANA data were derived from measurement efforts in which flow measurements and SM sampling are performed every three to four months using traditional field methods (DNAEE, 1970; USGS: Guy and Norman, 1970; WMO: Yuqian, 1989; WMO, 1994; Carvalho et al., 2000). Flow values were analyzed and calculated based on the resulting database according to Filizola et al. (1999) for each of the six stations, including three stations on the Purus River and three stations on the Juruá River (Table 1).

Table 1. Stations used in the study and basic sampling information. (Source: ANA, Filizola *et al.*, 1999)

Code	Station	River	Lat.	Long.	Drainage area (km ²)	TSS data		Samples used
						Period		
13750000	Seringal Fortaleza	Purus	-76,833	-669,333	159561.12	jan/92	08/00	24
13870000	Lábrea	Purus	-72,500	-648,000	72891.50	jul/92	11/00	27
13962000	Arumã - Downstream	Purus	-46,833	-621,167	137638.51	jul/83	10/00	51
12500000	Cruzeiro do Sul	Juruá	-76,167	-726,667	38919.28	jun/81	08/00	59
12550000	Eirunepé - Upstream	Juruá	-66,833	-699,000	43585.77	abr/92	09/00	27
12840000	Gavião	Juruá	-48,333	-667,500	83964.71	jun/85	11/00	39

Using the sediment flow data, a mass balance was calculated as a function of the increased water flow along each main course without directly taking into account the contributions of tributaries. In addition, the specific yield of sediment in each contribution drainage area was analyzed at each station based on the ratio of Q_s to the total basin area upstream of each station.

The hydrological data were analyzed using an interannual approach that disregards the period. Only stations with data sets containing 20 or more SM samples were considered. Time series data from hydrological studies conducted in the 1970s were used as the flow data, and periods with compatible Q measurements and SM samples were considered for Q_s calculations.

A regional-scale analysis is expected to yield results that are statistically representative and to generate a low degree of error. Additional information regarding such assessment criteria has been presented by Filizola (1999) and Filizola and Guyot (2009).

The erosion vulnerability indices were defined according to Crepani et al. (2001) based on Tricart's (1977) concept of ecodynamics in combination with geoprocessing techniques. The initial step of this approach is the definition of basic territorial units (BTUs), which can be considered to represent either natural landscape units or polygons of human intervention. In the current study, the six hydrological contribution areas of the Purus and Juruá Rivers were used in place of BTUs.

All of the factors that are typically used to define BTUs (e.g., geology, geomorphology, soils, rainfall and vegetation/land use) were represented in thematic maps. These factors were systematically evaluated and compared for each hydrological contribution area. Vulnerability values based on the morphogenesis and pedogenesis processes were assigned to each factor mentioned above. These values ranged from 1.0 (stable) to 3.0 (vulnerable). When morphogenesis predominates, erosion processes (which modify relief forms) prevail, and when pedogenesis predominates, soil-forming processes prevail.

Each factor considered in the analysis contributes to the vulnerability of each area in a specific manner. The characteristics of each variable involved in the vulnerability index and the morphogenesis-pedogenesis relationship are summarized in Table 2.

Table 2. Features used in the identification of vulnerability based on the morphogenesis- pedogenesis relationship. Source: Crepani *et al.* (2001)

Physiographic Variable	Morphogenesis	Pedogenesis
Geology	Low-cohesion rocks	High-cohesion rocks
Geomorphology	High-relief amplitude	Low relief amplitude
Pedology	Young, undeveloped soils	Mature, leached and well developed soils
Vegetation Cover	Low density	High density
Rainfall	High annual rainfall and short rainy season	Low annual rainfall distributed over a longer period

The total vulnerability of the basin was calculated as the arithmetic mean of the values for each of the following vulnerability factors: geology, geomorphology, soils, vegetation/land use and precipitation (rainfall). It should be noted that the geomorphology factor was derived by combining data on slope, relief dissection and altimetric amplitude. However, the predominant declivity forms themselves were also considered as a variable in the analysis.

To better represent the potential natural vulnerability of the study area, an initial vulnerability map was initially developed based on the physical factors alone. This map was

subsequently correlated with the vegetation/land use data to obtain the final vulnerability map of the basin.

The average value associated with each element indicates its position on a scale of vulnerability. Values approaching 1 represent stable conditions, in which pedogenetic processes predominate. Values of approximately 2.0 represent intermediate conditions, in which a balance exists between soil-forming and erosion processes. Values of approximately 3.0 indicate conditions in which morphogenesis processes prevail. This model was designed by Tricart (1977) based on the ecodynamics concept (Table 3).

Table 3. Classification of natural vulnerability to erosion. Source: Crepani *et al.* (2001)

Category	Pedogenesis/Morphogenesis Relationship	Value
Stable	Pedogenesis prevails	1.0
Intermediate	Pedogenesis/morphogenesis equilibrium	2.0
Unstable	Morphogenesis prevails	3.0

Finally, to analyze the behavior of the factors that control sediment production in the study area, the Q and Qs data were correlated against the erosion vulnerability values.

Multiple regression analysis, which considers the relationship between independent variables (X_N) and the dependent variable (Y), was used to assess whether these factors predict vulnerability and, if so, their rank of importance in this prediction.

The multiple linear regression analysis of N independent variables and a dependent variable is expressed as:

$$Y_i = a_0 + a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_n X_{ni} + \varepsilon_1 \quad (1)$$

In equation (1), X represents the control factors, including the geology, geomorphology, soil, rainfall and vegetation/land use, and Y corresponds to the erosion vulnerability index calculated according to the method of Crepani *et al.* (2001).

One of the most important applications of multiple regression analysis is in identifying those independent variables (from a set of candidate variables) that most strongly predict the dependent variable.

The total variance of Y is partially explained by both the X variables and the variability due to error (ε_1). The term “explained” refers to numerical significance only and does not necessarily indicate that the physical reasons for the relationship are known.

The relative sizes of these two variance components are of primary interest in multiple regression analysis. The proportion of the observed variance in Y_i that is explained by an fitted regression equation is represented by the coefficient of determination, R^2 .

$$R^2 = \frac{s_y^2}{s_y^2} \quad (2)$$

The values of R^2 range from 0 to 1, thereby providing a relative measure of the fit of the multiple regression analysis to the data. When R^2 values are approximately 1, the measured X variables are almost entirely responsible for the variation observed in Y. When the measured X variables are not responsible for the variation observed in Y, R^2 values will be close to 0. Because the regression coefficients are partial values, the sum of squares of the percentages of variance explained must be calculated for 2^k-1 combinations, where k is the number of independent variables. Finally, the relative contribution of each independent variable is determined by successive comparisons among the various results.

3. Results and Discussion

The hydrological contribution areas associated with the Seringal Fortaleza, Lábrea and Arumã-Downstream stations on the Purus River and the Cruzeiro do Sul, Eirunepé-Upstream and Gavião stations on the Juruá River were spatialized and calculated using GIS. The areas delineated by the two methodologies described above differed in their size. The sizes of the areas associated with each reference station as obtained by both methods are shown in Table 4; a map indicating these areas is shown in Figure 2.

Table 4. Hydrological contribution areas delineated using GTOPO30 and SRTM DEMs

Contributing area	River	GTOPO30 area (km ²)	SRTM area (km ²)	Difference between the areas (km ²)
Seringal Fortaleza	Purus	158714.80	159561.12	846.32
Lábrea	Purus	72815.94	72891.50	75.56
Arumã - Downstream	Purus	143438.35	137638.51	5799.84
Cruzeiro do Sul	Juruá	38910.59	38919.28	8.69
Eirunepé - Upstream	Juruá	38090.92	43585.77	5494.85
Gavião	Juruá	88595.52	83964.71	4630.81

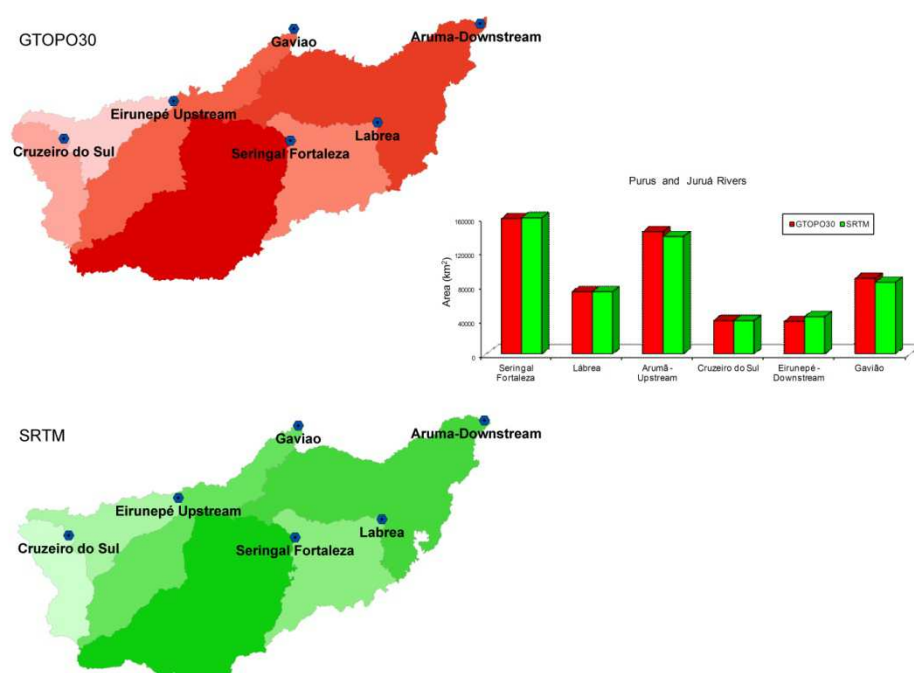


Figure 2. Comparison of the hydrological contribution areas calculated using GTOPO30 and SRTM DEMs.

The delineation of the contribution areas by semi-automatic extraction using GTOPO30 DEM and the determination of the drainage network from the JERS-1 image mosaic yielded area sizes that differed from those generated by the automatic processing of the SRTM data. These data were available for the South American continent with a 3 arc-second (~90 m) horizontal spatial resolution and 1 m vertical resolution. All SRTM data acquisition is designed for the generation of maps with scales ranging from 1:100000 to 1:250000.

The spatialization of the areas determined using GTOPO30 and SRTM DEMs and a graph comparing the sizes of these areas are shown in Figure 2.

Table 5 shows the values the four main discharge and sediment parameters obtained for each area. The magnitude of flow increased between the Lábrea and Arumã-Downstream stations in the Purus River. In the Juruá River, a similar increase was observed at a point between the Eirunepé-Upstream and Gavião stations, although this point was further upstream relative to the Purus River.

Table 5. Liquid discharge, solid discharge, solid flow balance and specific production of suspended sediments in each hydrological contribution area

Station	River	Lat.	Long.	Area (km ²)	Q (m ³ ·s ⁻¹)	QS (ton·year ⁻¹)	Balance (%)	Specific production (ton·km ⁻² ·year ⁻¹)
Seringal Fortaleza	Purus	-76,833	-669,333	159561.12	3.6E+03	1.03E+08	0	671
Lábrea	Purus	-72,500	-648,000	72891.50	5.5E+03	6.84E+07	-33	310
Arumã - Downstream	Purus	-46,833	-621,167	137638.51	1.1E+04	4.72E+07	-31	131
Cruzeiro do Sul	Juruá	-76,167	-726,667	38919.28	9.1E+02	1.24E+07	0	321
Eirunepé – Upstream	Juruá	-66,833	-699,000	43585.77	1.8E+03	1.18E+07	-5	153
Gavião	Juruá	-48,333	-667,500	83964.71	4.8E+03	2.54E+07	116	157

The analysis of the SM flow indicated that a small change in the magnitude of flow occurred between the Seringal Fortaleza and Lábrea stations in the Purus River, whereas no change was observed for the corresponding location in the Juruá River. Regarding the sediment flow balance, sedimentation along the Purus River tended to occur at a rate of approximately 30%, whereas in the Juruá River, a shift was observed from near stability (5% or less) upstream to high production (115%) in the last section that was studied (i.e., between the Eirunepé and Gavião stations). Specific production was high in the upper Purus basin (at Seringal Fortaleza, the furthest upstream station). This production is more than double that observed at the furthest upstream station on the Juruá River (Cruzeiro do Sul). There was a successive reduction in the specific production of approximately 40% at each of the other two stations on the Purus River. The first portion of the Juruá River exhibited a trend similar to that observed in the Purus River, although the specific production at the last station (157 ton·km⁻²·year⁻¹) was almost identical to that at the station furthest upstream (153 ton·km⁻²·year⁻¹).

Figure 3 illustrates the values of the four discharge and sediment parameters (listed in Table 5) for each hydrological contribution area.

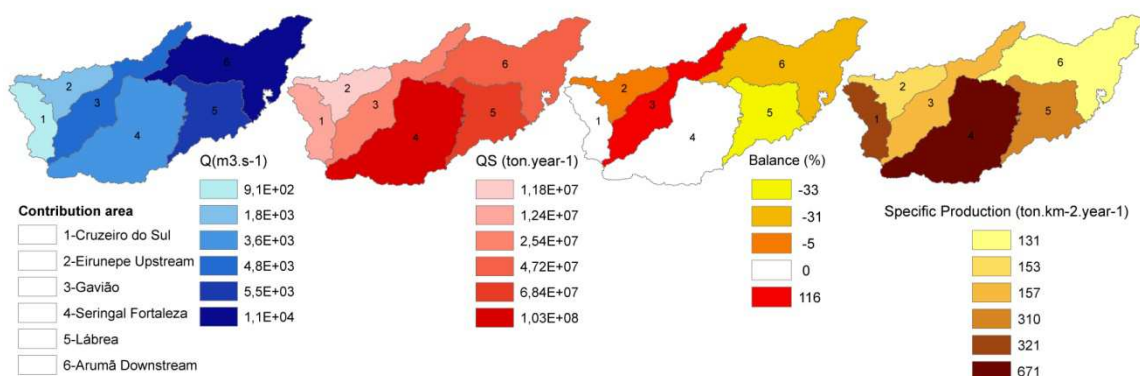


Figure 3. Maps of the study area showing discharge and sediment parameter values in each of the hydrological contribution areas.

The results of the morphodynamic analyses are shown in Tables 6-10. Each factor was assigned a vulnerability index value according to its stability/vulnerability to erosion.

Table 6 shows the erosion vulnerability index value associated with each geological class, based on the lithology, in the contribution areas of the Juruá and Purus Rivers.

Table 6. Erosion vulnerability index values associated with geological units in the contribution areas of the Juruá and Purus Rivers

Contribution area Juruá River			Contribution area Purus River		
Geological Unit	Index	Degree of Vulnerability	Geological Unit	Index	Degree of Vulnerability
Jamari Complex	1.2	Stable	Jamari Complex	1.2	Stable
Republic Syenite	1.4	Moderately Stable	São Lourenço-Caripunas Intrusive Suite	1.4	Moderately Stable
Divisor Formation	2.4	Moderately Vulnerable	Ciriquiqui Intrusive Suite	1.6	
Holocene Colluvials	2.5		Mutum-Paraná Formation	2.0	Average
Solimões Formation	2.7	Vulnerable	Pleistocene Detritus-Lateritic Cover	2.5	Moderately Vulnerable
Rio Azul Formation	2.8		Solimões Formation	2.7	Vulnerable
Holocene Alluvials	3.0		Holocene Alluvials	3.0	

Unconsolidated sediments are among the most unstable, and their associated vulnerability index values are high because these sediments are located along riverbeds where a large amount of material (especially sand) is transported by water during periods of high flow.

Table 7 shows the erosion vulnerability index value associated with each geomorphological class in the contribution areas of the Juruá and Purus Rivers.

Table 7. Erosion vulnerability index values associated with geomorphological units in the contribution areas of the Juruá and Purus Rivers

Contribution area Juruá River			Contribution area Purus River		
Geological Unit	Index	Degree of Vulnerability	Geological Unit	Index	Degree of Vulnerability
Jamari Complex	1.2	Stable	Jamari Complex	1.2	Stable
Republic Syenite	1.4	Moderately Stable	São Lourenço-Caripunas Intrusive Suite	1.4	Moderately Stable
Divisor Formation	2.4	Moderately Vulnerable	Ciriquiqui Intrusive Suite	1.6	
Holocene Colluvials	2.5		Mutum-Paraná Formation	2.0	Average
Solimões Formation	2.7	Vulnerable	Pleistocene Detritus-Lateritic Cover	2.5	Moderately Vulnerable
Rio Azul Formation	2.8		Solimões Formation	2.7	Vulnerable
Holocene Alluvials	3.0		Holocene Alluvials	3.0	

The geomorphology factor represents the arithmetic mean of the morphometric indices (interfluvial amplitude, altimetric amplitude and declivity).

The Amazon plain, which is an alluvial plain, is the most unstable of the geomorphological units analyzed due to the sediment accumulation that occurs in this type of area. These sediments are transported by water from other areas as a result of relief modification processes.

The morphodynamic analysis of soils in the study area indicated that latosols are stable to soil loss processes because they are well developed, deep, highly porous and mature.

Table 8 shows the erosion vulnerability index value associated with each soil type or soil association found in the contribution areas of the Juruá and Purus Rivers.

The vulnerable soils in the study area, which include gleysols, plinthosols, alluvial soils and litholic soils, are considered undeveloped soils.

The method used for the erosion vulnerability analyses takes into account the protection that vegetative cover provides against the erosive action of rain. The most stable areas are expected to be those covered by dense, closed vegetation, such as ombrophilous forest.

Areas used for human activities, such as cyclical or permanent agriculture, reforestation and pasturing, are highly vulnerable to soil loss processes due to low ground cover and the physical disturbance of the soil coupled with a lack of adequate soil management and conservation practices.

Table 8. Erosion vulnerability index values associated with soil types in the contribution areas of the Juruá and Purus Rivers

Contribution area Juruá River			Contribution area Purus River		
Soil type	Index	Degree of Vulnerability	Soil type	Index	Degree of Vulnerability
Red-Yellow Latosols	1.0	Stable	Yellow Latosols Red-Yellow Latosols Podzolic Red-Yellow Latosols Red Latosols	1.0	Stable
Argisols, Luvisols, Alisols, Nitosols Spodosols	2.0	Average	Argisols, Luvisols, Alisols, Nitosols Spodosols	2.0	Average
Cambisols	2.5	Moderately Vulnerable	Cambisols	2.5	Moderately Vulnerable
Gleysols Plinthosols	3.0	Vulnerable	Gleysols Fluvic Neosols Lithic Neosols Plinthosols	3.0	Vulnerable

Climate was assessed as the monthly rainfall at each analyzed station. Monthly rainfall was categorized using the intervals established by Crepani *et al.* (2001), and the erosion vulnerability index values associated with each category are shown in Table 9.

Table 9. Erosion vulnerability index values associated with rainfall classes in the contribution areas of the Juruá and Purus Rivers

Contribution area Juruá River			Contribution area Purus River				
Rainfall (mm/month)	Index	Degree of Vulnerability	Rainfall (mm/month)	Index	Degree of Vulnerability		
259.56 mm	345.89 mm	2.2	190.28 mm	259.56 mm	1.9		
-	mm		-	mm			
345.89 mm	453.45 mm	2.7	259.56 mm	345.89 mm	2.2		
-	mm		-	mm			
453.45 mm	587.45 mm		3.0	345.89 mm		453.45 mm	Average
-	mm			-		mm	
587.45 mm	754.41 mm			3.0		453.45 mm	
-	mm	-	mm				
754.41 mm	962.43 mm	3.0	587.45 mm	754.41 mm	3.0		
-	mm		-	mm			
962.43 mm	-	3.0	754.41 mm	962.43 mm	3.0		
-	mm	3.0	-	mm	3.0		

Using map algebra in a GIS environment, we integrated the thematic representations generated for each factor and the corresponding vulnerability values to generate a vulnerability map for the study area (Fig. 4).

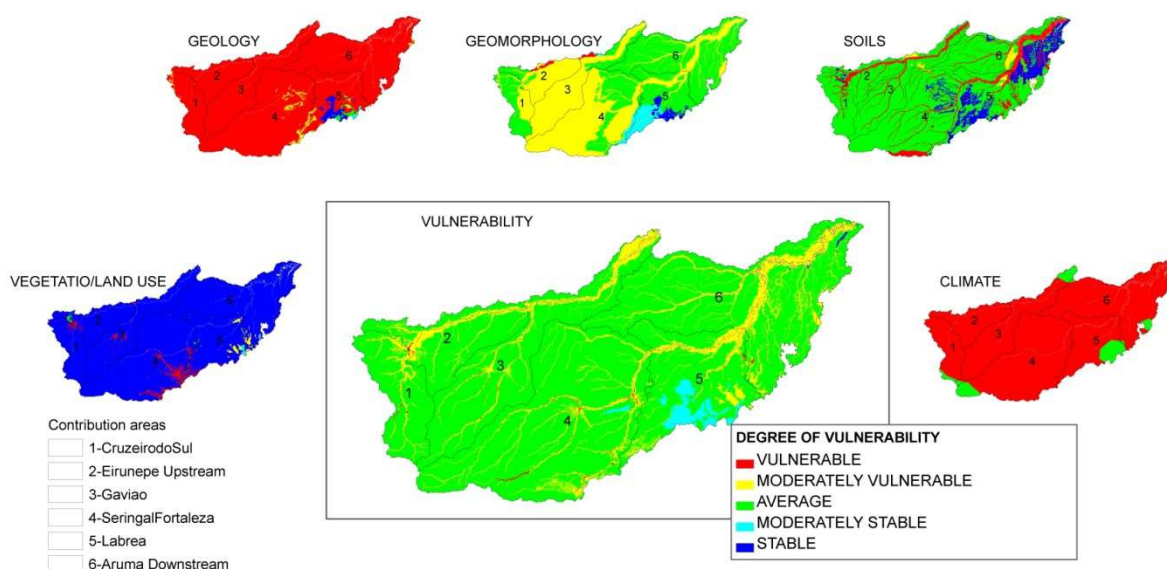


Figure 4. Maps of the study area showing the vulnerability to erosion associated with each factor.

The majority of the area exhibits average vulnerability, i.e., the average stability (Fig. 4). This extent of stability probably occurs because the region is relatively flat and can be

characterized as a region in which accumulation and pedogenesis prevails over morphogenesis.

The high specific sediment production observed at the Seringal-Fortaleza station (Fig. 3) may be most strongly associated with vegetation cover and land use. Although human land use was not distributed over a large area, its concentration was higher in this region.

Table 10 shows that the area sizes (km²) decrease within each vulnerability class, as calculated in the GIS environment for each hydrological contribution area.

Table 10. Vulnerability classes and respective area sizes within each hydrological contribution area

Degree of Vulnerability	Cruzeiro do Sul (km ²)	Eirunepé- Upstream (km ²)	Gavião (km ²)	Seringal Fortaleza (km ²)	Lábrea (km ²)	Arumã- Downstream (km ²)
Vulnerable	249.81	71.05	228.42	947.36	71.63	100.17
Moderately Vulnerable	4375.76	7421.37	12592.13	15487.21	10591.09	25137.40
Average	34188.16	35858.46	70488.72	142204.49	52971.74	110359.95
Moderately Stable	39.20	2.68	1.01	547.32	8761.76	2.51
Stable	66.35	232.21	654.43	374.74	495.28	2038.48
Total	38919.28	43585.77	83964.71	159561.12	72891.50	137638.51

The majority of the land within each contribution area is considered average in terms of the vulnerability, although a small percentage is either stable or vulnerable (Table 10). It should also be noted that the hydrological contribution area represented by the Lábrea station includes moderately stable to moderately vulnerable land classes.

The upstream stations on the Juruá and Purus Rivers exhibited different vulnerability indexes and specific production characteristics (Table 10). The hydrological area associated with the Seringal Fortaleza station (on the Purus River) exhibited the largest area classified as average in terms of the stability/vulnerability and the highest specific production. The opposite was true at the Cruzeiro do Sul station, which exhibited the lowest amount of area classified as having an average vulnerability index and the lowest specific production.

After the vulnerability of each hydrological contribution area was determined, forward stepwise multiple regression was performed to assess whether the vulnerability or QS could be predicted by geology, soils, vegetation cover and land use, geomorphology and/or rainfall as well as the relative importance of each factor in this prediction.

The results of the multiple regression analyses presented initially the contribution area of Juruá River, considering the vulnerability as dependent variables and the five factors as independent variables. These results also show the five factors explain 91% of the Y

variability, indicating that these variables significantly reduces the variance of the dependent variables (Table 11).

Table 11. Regression analysis results for vulnerability – Juruá River

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance (P)</i>
Regression	5	0.108	0.022	24.01	1.42E-05
Residual	11	0.01	0.001		
Total	16	0.118			

The same process was carried out for the contribution area of Purus River and the results show that five factors explain 94% of the variability of Y (Table 12) and Matrix of correlation of the factors (Table 13).

Table 12. Regression analysis results for vulnerability – Purus River

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance (P)</i>
Regression	5	0.918	0.184	148.16	9.03E-27
Residual	45	0.056	0.001		
Total	50	0.974			

Table 13. Matrix of correlation coefficient (Pearson) – Juruá River

	<i>Vulnerability</i>	<i>Geology</i>	<i>Geomorphology</i>	<i>Soils</i>	<i>Vegetation/Land Use</i>	<i>Rainfall</i>
<i>Vulnerability</i>	1	0.199	0.585	0.485	0.602	0.588
<i>Geology</i>	0.199	1	0.240	0.488	-0.244	0.004
<i>Geomorphology</i>	0.585	0.240	1	0.101	0.016	0.447
<i>Soils</i>	0.485	0.488	0.101	1	0.072	0.166
<i>Vegetation/Land Use</i>	0.602	-0.244	0.016	0.072	1	0.095
<i>Rainfall</i>	0.588	0.004	0.447	0.166	0.095	1

Multiple regression evaluated the contribution of each variable, and its relationships to the results (Tables 13 and 14).

Table 14. Matrix of correlation coefficient (Pearson) – Purus River

	<i>Vulnerability</i>	<i>Geology</i>	<i>Geomorphology</i>	<i>Soils</i>	<i>Vegetation/Land Use</i>	<i>Rainfall</i>
<i>Vulnerability</i>	1	0.405	0.494	0.733	0.573	0.215
<i>Geology</i>	0.405	1	0.401	0.202	-0.294	0.126
<i>Geomorphology</i>	0.494	0.401	1	0.111	-0.107	0.003
<i>Soils</i>	0.733	0.202	0.111	1	0.464	-0.106
<i>Vegetation/Land Use</i>	0.573	-0.294	-0.107	0.464	1	0.039
<i>Rainfall</i>	0.215	0.126	0.003	-0.106	0.039	1

However, the main objective of the regression analysis was to determine the relative contribution of each factor (X variable) because interactions between these factors also influence the overall result. Thus, the coefficient of determination (R^2) associated with each independent variable was calculated to determine the relative contribution of each factor (X variable) using a forward stepwise procedure. The coefficients with the highest values for all variables are shown in Table 15.

Table 15. Coefficient (R^2) - contribution area of Juruá and Purus Rivers

Juruá River		Purus River	
Variables	R^2s	Variables	R^2s
Vegetation/Land Use	0.3620	Soils	0.5371
Vegetation/Land Use+Geomorphology	0.6928	Soils+Geomorphology	0.7095
Vegetation/Land Use+Geomorphology+Soils	0.8425	Soils+Geomorphology+Vegetation/Land Use	0.8272
Vegetation/Land Use+Geomorphology+Soils+Rainfall	0.9104	Soils+Geomorphology+Vegetation/Land Use+Geology	0.9040
Vegetation/Land Use+Geomorphology+Soils+Rainfall+Geology	0.9160	Soils+Geomorphology+Vegetation/Land Use+Geology+Rainfall	0.9427

The relative contribution of each independent variable (in decreasing order of importance) is summarized below for the contribution areas of Juruá and Purus Rivers (Table 16).

Table 16. Relative contribution of each independent variable

Juruá River		Purus River	
36.20%	By Vegetation/Land Use	53.71%	By Soils
33.08%	By Geomorphology (69.28 – 36.20 = 33.08)	17.24%	By Geomorphology (70,95 - 53,71 = 17,24)
14.97%	By Soils (84.25 – 69.28 = 14.97)	11.77%	By Vegetation/Land Use (82,72 - 70,95 = 11,77)
6.79%	By Rainfall (91.04 – 84.25 = 6.79)	7.68%	By Geology (90,40 - 82,72 = 7,68)
0.56%	By Geology (91,60 - 91,04 = 0,56)	3.87%	By Rainfall (94,27 - 90,40 = 3,87)

At Juruá River, vegetation cover/land use explained the largest amount of the variation in the dependent variable: 36.20% of the total sum of squares of Y was attributed to this factor. The combined factors of vegetation cover/land use and geomorphology explained 69.28% of the observed variation, and therefore, geomorphology emerged as the second most

important independent variable, explaining 33.08% (69.28%-36.20%) of the variation in Y. Soil was identified as the third most important variable (explaining 84.25%-69.28%=14.97% of the observed variation), rainfall was the fourth most important (explaining 91.04%-84.25%=6.79% of the variation) and geology explained only 0.56% of the observed variation.

At Purus River, soil was identified as the most important explanatory variable, as 53.71% of the total sum of squares of Y was attributed to this factor. The combined factors of soil and geomorphology explained 17.24% of the observed variation, and therefore, geomorphology emerged as the second most important independent variable in this area, explaining 17.24% (70.95%-53.71%) of the observed variation in Y. Vegetation cover/land use was identified as the third most important variable (explaining 82.72%-70.95%=11.77% of the variation in Y), geology was the fourth most important variable (explaining 90.40%-82.72%=7.68% of the variation in Y) and rainfall had the lowest contribution (3.87%).

These results indicate that the most important factors in explaining the vulnerability to erosion at the Juruá and Purus Rivers areas were vegetation cover/land use and soil, respectively. It should be noted that the geomorphology was the second most important variable in both areas.

4. Conclusions

The data analyzed in this study enabled the assessment of the main factors that control current erosion processes in the region of the Purus and Juruá Rivers. The results indicate that the interactions among these factors can characterize situations of greater stability or situations that favor erosion.

The morphodynamic analysis performed to assign weights to the control factor classes proved effective, and the erosion vulnerability index methodology provided a systemic perspective regarding the behavior of the environment in the hydrological contribution areas of the Purus and Juruá Rivers.

A multiple regression analysis identified soil type and vegetation cover/land use as the most important factors controlling erosion in the Juruá River areas, whereas soil were the most important variables in the Purus River area.

Based on these results, the continued study of the factors that control erosion processes across the Amazon Basin is critical for understanding the behavior of sediment production in this region.

Acknowledgements

The authors thank the Graduate Program in Climate and Environment at the National Institute of Amazonian Research and Amazonas State University. We also thank the IRD partner team (Jeune Equipe Associe a l'IRD, JEAI), a group resulting from the international cooperation between Brazil and France, represented by Amazonas State University (Brazil) and the French Institute of Research for Development (Institut de Recherche Pour le Développement — IRD), an agency of the French government acting in the Amazon Basin in cooperation since the 1990s. We also thank the Center for Energy, Environment and Biodiversity (Centro de Energia, Ambiente e Biodiversidade, CEAB) of the National Institute of Science and Technology (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia, INCT) and the following funding agencies: the Amazonas Research Foundation (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, FAPEAM), the National Counsel of Technological and Scientific Development [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq], the Brazilian Federal Agency for the Support and Evaluation of Graduate Education [Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES] and the Brazilian Development Bank (Banco Nacional do Desenvolvimento, BNDES), and Financial Agency (FINEP).

References

- Bordas, M.P. and Semmelmann, F.R. Elements of sedimentation engineering. Chapter 21. In: **Hydrology: science and application**, edited by Carlos E.M. Tucci – 3rd ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2002.
- Carvalho, N.O.; Filizola Júnior, N.P.; Santos, P.M.C.; Lima, J.E.F.W. Sedimentometric practices guide. Brasilia: ANEEL. 154 p. 2000.
- Crepani, E. et al. Remote Sensing and Geoprocessing Applied to Ecological-Economic Zoning and Territory Planning. **Annals**. INPE, 123 p. 2001.
- National Department of Water and Power - DNAEE. Hydrologic guidelines and recommendations: fluviometry. Brasilia, DF, 94 p. 1970.
- Fan, F. M., Buarque, D. C., Paiva, R. C. D., Collischonn, W., Kayser, R. Arc-Hydro Manual for application of the MGB-IPH model, Version 2.0. **Integrated Project for the Amazon Cooperation and Modernization of Hydrological Monitoring**. 2010.
- Filizola, N. Suspended sediment yields in rivers of the Brazilian Amazon Basin. – Brasilia, DF: ANEEL, 1999.

- Filizola, N. Current sediment transfer in Amazon rivers. Thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse III, Toulouse, France. 273p. 2003.
- Filizola, N.P. and Guyot, J.L. Suspended sediment balance in the Amazon basin. In: **Workshop on Geotechnologies Applied to Lowland Areas in the Amazon**: studies presented at the workshop held in Manaus, July 17-18 2007. 104 p. – Manaus: Ibama, 2007.
- Filizola, N.P. and Guyot, J.L. Suspended sediment yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian national data set. **Hydrological Processes**, 23, 3207-3215, 2009.
- Guy, Harold P. and Norman, Vernon W. Field methods for measurement of fluvial sediment. Book 3, **Applications of Hydraulics**. USGS. Washington, DC. 1970.
- Seyler F., Muller F., Cochonneau G., Guimarães V., Guyot J.L. Watershed delineation of the Amazon sub-basins system using GTOPO30 DEM and a drainage network obtained from JERS SAR images. **Hydrological processes**. 2009.
- World Meteorological Organization - WMO. Guide to hydrological practices – data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. 15th ed. **World Meteorological Organization no. 168**. p. 259-287. 1994.
- Yuqian, Long. Manual of operational methods for the measurement of sediment transport. WMO, World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. 1989.

CAPÍTULO 4. CONCLUSÕES

Neste capítulo, as principais conclusões serão apresentadas na forma de tópicos, bem como algumas recomendações para possíveis estudos a serem desenvolvidos na mesma área ou aplicando a metodologia adotada para geração dos resultados do presente estudo.

4.1 Quanto ao uso das geotecnologias

A utilização de geotecnologias constitui um avanço nos estudos ambientais, pois promovem facilmente a integração das informações temáticas, assim como sua análise individual, além de estabelecer estratégias de ações e tomadas de decisões em espaços de tempo mais curtos e com qualidade visual mais aprimorada. Dessa forma, as bases de dados de diferentes fontes e formatos foram facilmente manipuladas para atender aos objetivos deste trabalho.

Algumas características de sistemas SIG, como tratamento de banco de dados georreferenciados e visualização gráfica, fornecem ferramentas poderosas de análise espacial, tornando tais sistemas adequados para a resolução de uma classe ampla de problemas. Além disso, alguns sistemas disponibilizam plataformas de desenvolvimento, de modo que possam ser ainda mais adaptáveis, abrangendo mais problemas por meio da implementação de ferramentas de análise ou mesmo solução.

4.3 Quanto à discretização da bacia

Os MDEs são utilizados para o delineamento e a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica. A partir desses índices quantitativos, estudos hidrológicos são realizados e analisados no processo de modelagem.

Com base na discretização de uma bacia hidrográfica, é possível compreender questões geomorfológicas, pois os cursos d'água estão relacionados com processos morfogenéticos ativos. Dessa forma, a metodologia adotada para extração de informações a partir de MDEs para modelagem da bacia do Solimões mostrou-se satisfatória. Algumas

avaliações baseadas, principalmente, na inspeção do MDE e a comparação com os resultados obtidos mostram que os resultados são coerentes.

4.3 Quanto à análise estatística

A utilização de ferramentas estatísticas específicas, aliadas às técnicas de análise espacial no contexto de estudos de geoprocessamento, contribui significativamente para a melhoria da qualidade dos resultados. Nesse sentido, a regressão múltipla mostrou-se uma eficiente ferramenta para prever o comportamento das variáveis dependentes – Vulnerabilidade e Vazão Sólida (QS) – em função das variáveis independentes (geologia, geomorfologia, solos, vegetação/uso, intensidade pluviométrica, vazão líquida, área de drenagem e MES).

Assim, a partir da análise de regressão, foi possível identificar quais das variáveis mantêm maior relação de causa e efeito entre si, bem como avaliar qual a ordem de importância dessas variáveis na previsão.

Na análise de regressão para variável dependente – Índice de Vulnerabilidade –, os resultados obtidos apontaram a vegetação/uso como a variável independente que mais explica o comportamento da variável dependente, seguida das variáveis: solos, geomorfologia, intensidade pluviométrica e geologia.

Na análise de regressão para variável dependente – Descarga Sólida (QS) –, foram utilizadas todas as variáveis do modelo anterior (geologia, geomorfologia, solos, intensidade pluviométrica, vegetação/uso), acrescentando a área de drenagem, MES e Vazão Líquida(Q). Os resultados indicaram ser a área de drenagem a variável mais importante em termos de participação no modelo, e a intensidade pluviométrica vem logo em seguida, como a segunda variável mais importante para explicar o comportamento de QS na bacia do rio Solimões.

4.4 Quanto à vulnerabilidade morfodinâmica

A divisão em áreas de contribuição hidrológica, considerando as estações de referência selecionadas para o estudo, permitiu, a partir da ponderação e integração dos fatores, a identificação de áreas com maior potencial de vulnerabilidade em relação ao fluxo de sedimentos que são transportados na bacia estudada.

Os resultados mostraram como os fatores morfométricos, topográficos, ambientais e de uso da terra correlacionam-se e influenciam na vulnerabilidade da bacia. Por meio da metodologia empregada, identificaram-se áreas de contribuição hidrológica que devem merecer especial atenção por serem mais vulneráveis aos processos erosivos, principalmente na porção andina da bacia; pois, nesta região, os processos erosivos são intensificados, principalmente, pelas características morfológicas.

De maneira geral, a metodologia adotada para avaliação da vulnerabilidade morfodinâmica natural apresentou-se bastante satisfatória, sendo os resultados obtidos coerentes com as características da bacia. Porém, é necessário ressaltar que a generalização das informações pode estar homogeneizando fatores relevantes. No entanto, a avaliação de cada físico-natural diante do processo de morfogênese-pedogênese apresentou-se bastante criteriosa, cujos resultados permitem elaborar ações de caráter aplicativo acerca do comportamento da bacia em relação aos processos erosivos.

4.5 Quanto à ponderação e integração dos fatores de controle e suas respectivas classes

A ponderação dos fatores e das respectivas classes, com base nos diversos trabalhos realizados e mapeamentos gerados na área, foram consistentes para simulação da vulnerabilidade natural/antrópica, considerando que os ponderadores automáticos (sistema de suporte à decisão) não consideram a experiência e conhecimento pré-existente.

Dentre os fatores de controle estudados, a cobertura vegetal e uso do solo obtiveram maior peso na análise da vulnerabilidade da bacia, considerando que as ações antrópicas são responsáveis, principalmente, pelos problemas relacionados aos recursos hídricos.

4.6 Quanto à simulação de cenários de vulnerabilidade ambiental e climática do futuro

Nas simulações dos cenários de vulnerabilidade antrópica e climático do futuro foi observado que, apesar da subjetividade envolvida nos processos de ponderação, o modelo de análise multicritério aplicado mostrou-se coerente para análise da vulnerabilidade da bacia, visando compreender a influência dos fatores de controle nos processos erosivos e no fluxo de material em suspensão. Assim, observa-se que tais fatores apresentam papel importante no processo que regula o transporte de sedimentos em suspensão na bacia Amazônica.

A bacia do Solimões apresentou dois níveis de contribuição em relação à vulnerabilidade nas simulações realizadas. O nível Médio ocorre nas áreas de contribuição

hidrológica localizadas na planície e o nível Alto, na região andina, a qual é caracterizada por elevada declividade e, provavelmente, onde são iniciados os processos erosivos responsáveis pela quantidade do sedimento que é transportado pela bacia.

Atualmente, as mudanças climáticas tem sido foco de muitas pesquisas relacionadas a temática de vulnerabilidade, mesmo havendo muita incerteza sobre a magnitude e abrangência dessas mudanças. A relevância de parte desses estudos está no fato de que, além das mudanças atmosféricas, estão sendo avaliadas as dimensões social, econômica e cultural que essas mudanças poderão afetar. Os avanços metodológicos destes estudos podem contribuir efetivamente para integrar os diferentes aspectos ligados a vulnerabilidade.

4.7 Considerações finais

Observando a escala de aplicação da modelagem na bacia do Solimões, os resultados são satisfatórios mesmo considerando a utilização de dados de diversas fontes e formatos. Assim, a partir da metodologia aqui empregada e com base nos resultados obtidos, espera-se que a mesma possa ser aplicada em outras bacias da região, principalmente na representação mais coerente de impactos de mudanças do uso do solo, vulnerabilidade morfodinâmica natural e antrópica, variabilidade climática e simulação de fluxos de sedimentos em bacias hidrográficas.

Com a obtenção e integração de informações sobre os fatores de controle mais importantes e que determinam o fluxo de MES e suas variações na bacia do Solimões, é possível entender a contribuição do rio Solimões para a bacia Amazônica em termos de carga líquida e de material particulado.

Por fim, este trabalho busca contribuir para novos estudos, sejam estes multidisciplinares, multitemporais ou diagnósticos mais precisos que enfoquem as questões aqui abordadas, colaborando com o planejamento e a gestão ambiental, por meio da síntese dos dados e dos mapas temáticos resultantes, bem como para o aprimoramento da metodologia aplicada e, como sugestão para futuros trabalhos, definir uma área para testar os dados do PRODES/INPE utilizando a metodologia de Crepani et al., 2001.

REFERÊNCIAS

- Aalto R., Maurice-Bourgoin L., Dunne T., Montgomery, D.R., Nittrouer C. and Guyot J.L. 2003. Episodic sediment accumulation on Amazonian floodplains influenced by El Niño/Southern Oscillation. *Nature*, 425: 493-497.
- Allen, P. A. 2008. From landscapes into geological history. *Nature*, Reprinted from Vol. 451, no. 7176 (Supplement), pp. 274-276, doi:10.1038/nature06586.
- Alcântara, E. H. 2004. Mudanças Climáticas, Incertezas Hidrológicas e Vazão Fluvial: O Caso do Estuário do Rio Anil. *Caminhos de Geografia* 8(12)158-173, Jun/2004.
- Almeida, A. T. & Costa, A. P. C. S. 2003. Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão. Recife.
- Alves Sobrinho, T.; Oliveira, P. T. S.; Rodrigues, D. B. B.; Ayres, F. M. 2010. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, 30 (1).
- Amaral, E. F., Lani, J. L., Bardeales, N. G. e Oliveira, H. 2004. Vulnerabilidade Ambiental de Uma Área Piloto na Amazônia Ocidental: Trecho da Br-364 entre Feijó e Mâncio Lima, Estado do Acre. *Natureza & Desenvolvimento*, v. 1, n. 1, p. 87-102.
- ANA. 2006. Topologia Hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos. Versão 1.11. <http://www.ana.gov.br>. Acessado em janeiro/2008.
- Antoneli, V; Thomaz, E. L. 2007. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. *Rev. Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, junho de 2007.
- Baby P., Guyot J.L. and Hérial G., 2004. The high Amazonian basin in Bolivia: tectonic control, erosion and sedimentation. *Hydrological Processes*. (in press).

Baldissera, G. C. 2005. *Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT*. 132 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

Bailey, T.C., Gatrell, A.C., 1995. *Interactive Spatial Data*, Longman Group Limited, London.

Bantaya & Bishop, 1998 Bantayan, N. C. & Bishop, I. D. 1998. Linking objective and subjective modeling for land use decision-making. *Landscape and Urban Planning*, v. 43, p. 35-48.

Bloom, A. L. 1994. *Superfície da terra*. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

Bordas, M. P. 1991. Na outline of hydrossedimentological zones in the Brazilian basin. In: Braga, B. P. F.; Ferrnandez, Juregui C. (Ed.) *Water Management of the Amazon Basin*, Publ. Montevidéu, Uruguai: UNESCO-ROSTLAC.

Bordas, M.P.; Semmelmann, F.R. 2000. Elementos de engenharia de sedimentos. In: Tucci, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2ª ed., Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, p. 915-943.

Bordas, M.P.; Semmelmann, F.R. 2002. Elementos de engenharia de sedimentos. In: Tucci, C.E.M. (org.). *Hidrologia ciência e aplicação*. 3ª ed., Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Bordas, M.P.; Semmelman, F.R. 2004. Elementos da engenharia de sedimentos. In: Tucci, C.E.M (org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4ª ed., Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Bourgoin L.M, Bonnet M-P., Martinez J-M., Kosuth P., Cochonneau G., Moreira-Turcq P., Guyot J-L., Vauchel P., Filizola N., Seyler P. 2007. Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuai floodplain and the Amazon River, Brazil. *Journal of Hydrology* (2007) 335, 140– 156.

BRASIL. 2006. *Caderno da Região Hidrográfica Amazônica*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA. 124 p.

BRASIL. 1978. Ministério das Minas e Energia. *Levantamento de Recursos Naturais – Projeto RADAMBRASIL – 1973-1978*. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Câmara, G. 1995. *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*. 1995. 257 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.

Câmara, G.; Souza, R.; Freitas, U.; Garrido, J. 1996. Spring: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. *Computers and Graphics*, v. 15, n.6, p. 13-22.

Câmara, G., 2001. Análise Espacial de Dados Geográficos. *Álgebra de Mapas – Capítulo 8*. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/index.html>>. Acesso em: 10 janeiro de 2010.

Câmara, G. e Monteiro, A. M. V., 2004. Conceitos Básicos da Ciência da Geoinformação. In *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, INPE. Disponível em : <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> Acesso em 10/01/2010.

Câmara, G.; Monteiro, A. M.; Medeiros, J. S. 2004. *Introdução a Ciência da Geoinformação – São José dos Campos, INPE*.

Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, S. V. 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, Viçosa – MG, v. 30, n. 2, p. 241-248.

Carvalho, N. O. 1994. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro, Brasil, 372 pp.: Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais.

Carvalho, N. O.; Filizola Júnior, N. P.; Santos, P. M. C.; Lima, J. E. F. W. 2000. *Sedimentometric practices guide*. Brasília: ANEEL. 154 p.

Carver, S. J., 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science*, V.5, n^o3, pp 321-339.

Christensen, N.S., Wood, A.W., Voisin, N., Lettenmaier, D.P., Palmer, R.N., 2004. The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin. *Climate Change* 62, 337–363.

Christofolletti, A. 1980. *Geomorfologia*. 2ª ed. Editora Edgard Blücher, São Paulo, São Paulo, 200 pp.

Christofolletti, A. 1981. *Geomorfologia fluvial*. Editora Edgard Blücher, São Paulo, São Paulo, 221 pp.

Coelho, A. L. N. 2007. Aplicações de geoprocessamento em bacias de médio e grande porte. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento. 13. Florianópolis, SC. *Anais ... Florianópolis, SC*: [s.n.], p. 5-8.

Collischonn, W. 2009. Manual de discretização de bacias para aplicação do modelo MGB-IPH. Versão 1.2. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, UFRGS.

Cordani, U. G., Teixeira, W., D'Agrella-Filho, M. S., Trindade, R. I. F., 2009, The position of the Amazonian Craton in supercontinents, *Gondwana Research*, v. 15, n. 3-4, pp. 396-407. Doi:10.1016/j.gr.2008.12.005.

Costa, J. B. S., Bemerguya, R. L., Hasuib, Y., Borges, M. S., 2001, "Tectonics and paleogeography along the Amazon river", *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, n. 4, pp. 335-347. doi:10.1016/S0895-9811(01)00025-6.

Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. 1996. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador. *Anais*. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas.

Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Duarte, V.; Hernandez, P.; Florenzano, T & Barbosa, C. 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE.

Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Palmeira, A. F. 2004. Intensidade Pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. São José dos Campos, Junho de 2004 (INPE-11237-RPQ/760).

Cristofolletti, A. 1969. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Rev. Geomorfologia*, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64.

Cruz, L. M.; Pinese Júnior, J. F.; Rodrigues, S. C., 2010. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória – MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S.l.], n. 62/04.

Cunico, C. 2007. *Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Marumbi – PR: perspectivas para a análise e avaliação das condições sócio-ambientais*. Dissertação (Mestrado em Geografia), Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Cunico, C. & Oka-Fiori, C. 2008. Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Marumbi-PR: perspectivas para a análise e avaliação das condições sócio-ambientais. *Estudos Geográficos*, v. 6, n. 1, p. 37-61.

Dai, A. T. M. L. 2001. Climate of the Twentieth and Twenty-First Centuries Simulated by NCAR Climate System Model. *Journal of Climate* 14, 485-519.

Devantier, B. A., Feldman, A.D. 1993. Review of GIS Application in Hydrologic Modelling. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119, (2): 246-261 pp.

Dijkshoorn J. A, Huting J. R. M, Tempel, P. 2005. Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and The Caribbean (SOTERLAC; version 2.0). Report 2005/01, ISRIC, World Soil Information, Wageningen.

Dunne, T., Mertes, L. A. K., Meade, R. H., Richey, J. E., Forsberg, B. R. 1998. Exchanges of sediment transport between the floodplain and channel of the Amazon River in Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 110 (4): 450-467.

Druck, S.; Carvalho, M. S.; Câmara, G. (Ed.). *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 7 janeiro de 2010.

Ehlers, M. 1991. Remote sensing and geographic information systems: image integrated information systems. In: Johnson, A. I.; Petterson, C. B.; Fulton, J. L. *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping – Practices and Standards*. Philadelphia: ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and materials. P. 53-67.

EMBRAPA. 1999b. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos, 412p. : il.

Espinoza, J. C. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon Basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *International Journal of Climatology*, v. 29, p. 1574–1594.

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Cochonneau, G., Filizola, N., Lavado, W., Oliveira, E., Pombosag, R., Vuchel, P. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon Basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador), *International Journal of Climatology*, 29, 1574–1594, doi:10.1002/joc.1791.

Eva, H. D.; De Miranda, E. E.; Di Bella, C. M.; Gond, V. 2002. A Vegetation map of South America. EUR 20159 EN, European Commission, Luxembourg.

Fan, F. M., Collischonn, W., Buarque, D. C., Paiva, R. C., Kaiser, R. 2010. *Manual ARC-Hydro para aplicação do modelo MGB-IPH*, versão 2.0. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. UFRGS.

Fernandes, N. F.; Amaral, C.P. Movimento de Massa: uma abordagem Geológica-Geomorfológica. IN Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. (orgs.) Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

Filizola, N. 1999. *O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia Brasileira*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. (v. 1).

Filizola, N. 2003. *Transfert sédimentaire actuel par les fleuves amazoniens*. 2003. 273 f. Tese (Doutorado em Hidrologia e Geologia) – Université Paul Sabatier, Toulouse III, Toulouse, France.

Filizola, N.; Guyot, J. L. 2007. Balanço do fluxo de sedimentos em suspensão da bacia Amazônica. In: *Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia*, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Manaus, Amazonas, 104 pp.

Filizola, N.; Guyot, J. L. 2009. Suspended sediments yields in the Amazon basin: an assessment using the Brazilian National Data Set. *Hydrological Processes*, v. 23, n. 22, p. 3207-3215.

Filizola, N.; Guyot, J. L.; Wittmann, H.; Martinez, J.M. and Oliveira, E. 2011. The Significance of Suspended Sediment Transport Determination on the Amazonian Hydrological Scenario. In: *Sediment Transport in Aquatic Environments*. Edited by: Andrew J. Manning. Publisher: In Tech.

Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. 1996. *Clima da Amazônia*. Boletim do Climanálise Especial – Comemoração dos 10 anos. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

Fonseca, F. T.; Davis Junior, C. A. Geoprocessamento e Internet: Cenário Atual e Perspectivas. *Fatorgis on line*. 1998. Disponível em: <http://www.fatorgis.com.br/artigos/gisgeo_int/geo_int.htm>. Acesso em: 7 jan. 2010.

Gibbs, R. J. 1967. The Geochemistry of the Amazon River System: Part I. The Factors that Control the Salinity and the Composition and Concentration of the Suspendend Solids. *Geological Society and American Bulletin*, v. 78, p. 1203-1232.

Gomes, E. G. 1999. Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Tomada de Decisão Espacial. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Graham, L. P.; Andréasson, J.; Carlsson, B. 2007. Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study of the Lule River basin. *Climate Change*, v. 81, p. 293–307.

Grigio, A. M.; Castro, A. F.; Souto, M. V. S.; Amaro, V. E.; Vital, H.; Diodato, M.A. 2006. Use of Remote Sensing and Geographical Information System in the Determination of the Natural and Environmental Vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 1427-1431.

Guy, Harold P. and Norman, Vernon W. 1970. Field methods for measurement of fluvial sediment. Book 3, *Applications of Hydraulics*. USGS. Washington, DC.

Guyot, J. L. 1993. *Hydrogéochimie dès Fluves de L'Amazonie Bolivienne*. Orstom, Paris, França.

Guyot J. L., Bourges J., Cortez J. 1994. Sediment Transport in the Rio Grande, an Andean River of the Bolivian Amazon Drainage Basin. In: Olive L.J., Loughran R.J., Kesby J.A. (eds.) Variability in Stream Erosion and Sediment Transport. Canberra, IAHS, p. 223-231.

Guyot, J. L., Calléde, J., Cochonneau, G. *et al.*, 1999. “Caractéristiques Hydrologiques du Bassin Amazonien”. In: *Anais de Manaus’ 99 - Hydrological and Geochemical Processes in Large Scale River Basins*, Manaus, Amazonas, Brasil.

Guyot, J. L.; Jouanneau, J. M.; Soares, L.; Boaventura, G. R.; Maillet, N.; Lagane C. 2007. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon basin. *Catena*, 71:340-356.

Guyot, J. L. et al., 2011. Hydrology and sediment transport in the Amazon basin, from the Andes to the ocean. In: *Proceedings of the World's Large Rivers Conference*, Vienna.

Hamada, E.; Gonçalves, R. R. V.; Ghini, R. 2009. Método de elaboração de mapas dos cenários climáticos futuros para o Brasil. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. INPE, p. 3891-3897.

Heywood, I., Oliver, J. e Tomlinson, S., 1995. Building an Exploratory Multi Criteria Modelling Environment for Spatial Decision Support. In: *Innovations in GIS 2*. Pp. 127-136. Taylor & Francis, Londres.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) e Banco Mundial, 2000. Amazônia Florestal: oportunidades para uma economia sustentável. Série Parceria, N° 01. 82 p. Brasília.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001a. Working Group I. Third Assessment Report. Summary for Policymakers. WMO. 17 pp. Disponível em: <http://www.metu.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2009.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001b. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers. Disponível em: <http://www.metu.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2009.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Working Group II – Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Crown: United Kingdom.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2009. Data Distribution Centre. Disponível em: <<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>>. Acesso em: jun. 2009.

Iron, G. 1983. Clay mineralogy of the suspended load of the Amazon and of rivers in the Papua New Guinea mainland. Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, Scope/Unep Sonderband 55 : 483-504.

Iron, G. 1984. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since Pliocene Times, 201-214. In: *The Amazon*, Sioli, H. (ed.), W.Junk, Dordrecht.

Iron, G. 1991. Mineral in rivers, 265-281. In: *Biogeochemistry of Major World Rivers*, Scope 42, Degens E.T., Kempe S. & Richey J. E. (eds.), J. Wiley, Chchester.

Johnson, L. E. 2009. Geographic Information Systems. In: *Water Resources Engineering*. CRC Press, 340pp.

Jenson, S. K.; Domingue, J. O. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, p. 1593-1600.

Julien, P. 1995. *Erosion and sedimentation*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Junk, W. J. 1983. As águas da região amazônica. In: SALATI, E. et al. *Amazônia desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo: Brasiliense; (Brasília): Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. p. 45-100.

Keeney, R. L., Raiffa, H. e Meyer, R.F., 1993. *Decision with Multiple Objectives – Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Keller, C. P., 1996. *Decision Making Using Multiple Criteria*. NCGIA core curriculum, unit 57. Santa Barbara, Canadá: National Center for Geographic Information and Analysis. Disponível em: <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u57.html> Acesso em 10/01/2008.

Klinge, H. 1965. Podzol soils in the Amazon basin. *Journal of Soil Science* 16 (1) : 95-103.

Knox, J. C. 2006. Floodplain sedimentation in the Upper Mississippi Valley: natural versus human accelerated. *Geomorphology*, v. 79, p. 286-310.

Kohlhepp, G. 1978. Erschliessung und wirtschaftliche Inwertstzung Amazoniens. *Geogr. Rundschau* 30:2-13.

Landim, P. M. B.; Lourenço, R. W., 2004. *Análise de regressão múltipla espacial*. Universidade do Estado de São Paulo, Rio Claro, São Paulo, pp 13-34. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 20 janeiro de 2011.

Landim, P. M. B. 2010. Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados. DGA, IGCE, UNESP / Rio Claro, Texto Didático 15, 229 pp. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodl.html>. Acesso em: junho de 2011.

Lapponi, J. C. 2000. Estatística Usando Excel 5 e 7. São Paulo: Lapponi, Treinamento e Editora, p. 294.

Latrubesse, E. M. e Rancy, A., 2000, “Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late quaternary: the Moa and Ipixuna river basins, Brazil”, *Quaternary International*, v. 72, n. 1, pp. 67-72.

Latrubesse, E. 2008. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology* 101: 130–145

Legates, D. R.; Willmott, C. J. 1990. Mean Seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation. *International Journal of Climatology*, v. 10, n. 2, p. 111-127.

Lima, J. E. F. W, Santos, P. M. C., Carvalho, N. O., Silva, E. M. 2004. *Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins*. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 116p.

Lima, W. de P. 2008. Hidrologia Florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. 2. ed. Piracicaba, SP: USP – ESALQ.

Macedo, M. R. A. 2011. Regressão geograficamente ponderada aplicada ao estudo da relação pecuária e desmatamento no sudeste do estado do Pará. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2899.

Maidment, D. R. 2002. *ARC Hydro: GIS for water resources*. Redlands CA: ESRI PRESS. 220 p.

Malczewski, J., 1996. A GIS-Based Approach to Multiple Criteria Group Decision Making. *International Journal Geographical Information Science*, v. 10, n° 8, pp. 955-971.

Malczewski, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Ed. John Wiley & Sons. New York.

Maneaux, E. 1998. *Erosion mécanique des sols et transports fluviaux de matières en Suspension: application des systèmes d'information géographique dans les bassins versants de l'Audour, de la Dordogne et de la Garone*. 1998. 251 p. Tese de Doutorado – l'Université de Bordeaux I.

Marengo, J., 1995, "Interannual variability of deep convection over the tropical South American setor as deduced from ISCCP C² data", *International Journal of Climatology*, v. 15, n. 9, pp. 995-1010.

Marengo, J. A. 2001. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [S.l.], v. 16, p. 1-18.

Marengo, J.; Nobre, C. A. 2001. The Hydroclimatological framework in Amazonia. *In: Biogeochemistry of Amazonia*. Richey, J., McClaine, M., Victoria, R., Eds., pp. 17-42.

Marengo, J., 2004, "Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin", *Theoretical and Applied Climatology*, v. 78, n. 1-3, pp. 1434-4483.

Marengo, J. A. 2006. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*, volume 26, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal, 212 pp.

Martinez J. M., Guyot J. L., Filizola N. and Sondag, F. 2009. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. *Catena*, Vol. 79, Issue 3, 15 December 2009, Pages 257-264.

Martini, P. R., Duarte, V., Arai, E., Moraes, J. A. 2008. “Metodologia de medições das extensões dos rios Amazonas e Nilo utilizando imagens MODIS e GEOCOVER”, *Anais do XIII Simpósio da Sociedade de Especialistas Latino-americanos em Sensoriamento Remoto (SELPER)*, Havana, Cuba, 22-26 de setembro de 2008.

Martinelli, M. 2003. *Mapas de Geografia e Cartografia Temática*. São Paulo: Ed. Contexto, (V. 1).

Martz, L. W.; Garbrecht, J.; 1988. “The treatment of fat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models.” *Hydrological Processes*, 12:843-855.

Meade, R. H., Nordin, C. F., Curtis, W. F., Costa Rodrigues, F. M., Do Vale, C. M., Edmond, J.M. 1979. Sediment loads in the Amazon River. *Nature* 278:161-163.

Meade, R. H. 1985. Suspended Sediment in the Amazon River and its Tributaries in Brazil, during 1982-1984. *U.S. Geological Survey Open File Report 85-492*, 39pp, Denver.

Meade, R. H., Dune, T., Richey, J. E., Santos, U. de M., Salati, E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, 228: 488-490.

Meade, R. H. 1988. Movement and storage of sediment in river systems. In: Lerman, A.; Maybeck, M. (Ed.). *Physical and chemical weathering in geochemical cycles*. Dordrecht: Editores Kluwer. p. 165-179.

Medeiros, A. M. L. **Curso de Introdução ao uso de Geotecnologias Livres**. [s.n.]: João Pessoa, **2009**.

Mello, J. C. C. B. S; Gomes, E. G; Leta, F. R; Pessolani, R. B. V. 2003. Conceitos Básicos de Apoio Multicritério à Decisão e Sua Aplicação no Projeto Aerodesing. Artigo Científico. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

Mertes, L. A. K., Dunne, T., Martinelli, L. A., 1996. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon river, Brazil”, *Geological Society of America Bulletin*, v. 108, n. 9, pp. 1089-1107.

Miara, M. A. & Oka-Fiori, C. 2007. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. R. RA E GA, n. 13, p. 85-98.

Milani, E. J., Thomaz Filho, A. 2000, “Sedimentary Basins of South America”. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz Filho, A. Campos, D. A. (eds.), Tectonic Evolution of South America, pp. 389-449. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brasil.

Milliman J. D. & Syvitzki J. P. M. 1992. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: the Importance of Small Mountainous Rivers. *Journal of Geology*, 100:525-544.

Moliner, M.; Guyot, J. L., De Oliveira, E., Guimarães, V. & Chaves, A. 1995. Hydrologie du bassin de l’Amazone. In: Grands Bassins Fluviaux Périalantiques, 335 – 344, PEGI, Paris.

Molinier, M., Guyot, J.L., Oliveira, E., Guimarães, V. 1996. Les regimes hydrologiques de l’Amazone et de ses affluents. In: *L’hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement*, Paris, France, IAHS Publ. 238, 209-222 pp.

Montoro, E. R., 1996. *Estatística Aplicada* – Publicação ALCOA. Poços de Caldas/MG: [s.n.].

Montoro, E. R., 2011. *Análise de regressão e correlação, V.5* – Publicação ALCOA. Poços de Caldas/MG: [s.n.].

Morehead, M. D., Syvitski, J.P., Hutton, E.W.H. , Peckham, S.D. 2003. Modeling the temporal variability in the flux of sediment from ungauged river basins. *Global and Planetary Change* 39: 95–110.

Muller, C. V. 1983. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. *Technical Report*, Department of Geology, Columbia University.

Muller, F., Cochonneau, G., Guyot, J-L., Seyler, F. 2000. Watershed extraction using together DEM and drainage network: application to the whole Amazonian basin. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling: Problems, Prospects and Research Needs*, Alberta: Canada, 2-8 de Setembro. Disponível em: <http://www.colorado.edu/research/cires/banff/pubpapers/220/>. Acesso em: 20 mar. 2011.

Naghetini, M.; Pinto, E. J. A. 2007. *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte, Minas Gerais: Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais.

Nascimento, J. A. S. do. 2011. Vulnerabilidade a eventos climáticos extremos na Amazônia Ocidental: uma visão integrada na bacia do rio Acre: UFRJ/COPPE,. XII, 285 p.: il.; 29,7 cm.

National Department of Water and Power - DNAEE. 1970. Hydrologic guidelines and recommendations: fluviometry. Brasilia, DF, 94 p.

Nobre C. A.; Sellers, P.; Shukla, J., 1990. Regional climate change and amazonian deforestation model. *Journal of Climate*, v.4, n.10, p.957-988.

Oliveira, S. N. de, Carvalho Jr., O. A. de, Silva, T. M. da, Gomes, R. A. T., Martins, E. de S., Guimarães, R. F. e Silva, N. C. 2007. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 8 (1): 3-21.

Oltman, R. E. 1968. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon. *U.S Geological Survey Circ.* 552, 16 pp.

Palmeira, A. F. 2004. Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicadas à gestão do território do Município de Paragominas (Estado do Pará). São José dos Campos: 260 p. INPE. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Paradella, W. R., Cecarelli, I.C.F., Oliveira, C.G.; Luiz, S., Morais, M.C., Cottini, C.P. 2001. A geração de modelos digitais de elevação pela estereoscopia de radar: conhecimento atual e resultados com imagens radarsat-1 na Amazônia. *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, Paraná.

Paz, A. R.; Collischonn, W. 2007. River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model. *Journal of Hydrology*, v. 343, p. 127-139.

Pedreira, A. J., Bahia, R. B. C., 2000, “Sedimentary basins of Rondônia State, Brazil: response to the geotectonic evolution of the Amazonic craton”, *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 3, pp. 477-480.

Picouet, C.; Hingray, B.; Olivry, J. C. 2001. Empirical and conceptual modelling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the Upper Niger river basin. *Journal of hydrology*, v. 250, p. 19-39.

Pinet P. & Souriau M. 1988. Continental Erosion and Large Scale Relief. *Tectonics*, 7:563-582.

Pissara, T. C. T.; Politano, W.; Ferraudo, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). *Rev. Bras. Ciências do Solo*, Viçosa, n. 28, p.297-305, 2004.

Pires Neto, A. 1995. Planejamento territorial e a abordagem geológico-geotécnica e o conceito de terreno ou abordagem de paisagem. *Geografia*, v.8, p.51-62.

Potter, P. E. 1997. The Mesozoic and Cenozoic paleodrainage of South America: a natural history. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 10, n. 5-6, p. 331-344.

Putzer, H. 1984. The geological evolution of the Amazon basin and its mineral resources. In: Sioli, H. (Ed.). *The Amazon, Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht, The Netherlands: Dr. W. Junk Publishers.

Prado, R. B. 2004. *Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos*. 2004. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R. 2003. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry e Remote Sensing*, 57: 241– 262.

RADAMBRASIL, 1973–1978. Levantamento de Recursos Naturais – Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Instituto de Geografia e Estatística.

Ramme, E. J. e Krüger, C. M. 2006. Delimitação de bacias hidrográficas com auxílio de Geoprocessamento. *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo, SP.

Regonda, S. K., Rajagopalan, B., Clark, M., Pitlick, J. 2005. Seasonal shifts in hydroclimatology over the western United States. *Journal of Climatology* 18 (2): 372–384.

Ribeiro, F. L. & Campos, S. 2007. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 6, p. 628-636.

Richey, J. E.; Ertel, J. R.; Hedges, J. I. Allan H. 1986. Devol, and dissolved humic substances of the Amazon River system1. *American Society of Limnology and Oceanography*, v. 31, n. 4, p. 139-154.

Rosa, R. 2005. *Revista do Departamento de Geografia*, v.16, p. 81-90.

Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, p. 234-281.

Salati, E., Marquez, J., Molion, L. C., 1978, “Origem e distribuição das chuvas na Amazônia”, *Interciencia*, v. 3, n. 4, pp. 200–205.

Salati, E., 1983. O clima atual depende da floresta, *In: Salati, E. et al., Amazônia desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo: Ed. Brasiliense, (Brasília): Conselho de desenvolvimento Científico e tecnológico, p. 15-44.

Salati, E., 1985, “The climatology and hidrology of Amazonia”. In: Prance, G. T., Lovejoy, T. E. (eds.), *Amazonia*, pp. 18-42. Oxford, Reino Unido: Pergamon Press.

Santos, T. T. 2010. *Delimitação espacial e simulação hidrossedimentológica na bacia do rio Japaratuba Mirim em Sergipe*. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe.

Santos, A. R.; Louzada, F. L. R. O.; Eugênio, F. C., 2010. *ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais*. Alegre, ES: CAUFES.

Schmidt, G. W. 1972. Amounts of suspended solids and dissolved substances in the middle reaches of the Amazon over the course of one year (August 1969 – July 1970). *Amazoniana*, v. 3, n. 2, p. 208-223.

Schobbenhaus, C. e Bellizzia, A. 2001 (coords.). Mapa Geológico da América do Sul, 1:5.000.000, CGMW – CPRM – DNPM – UNESCO, Brasília.

Schubart, H. O. 1983. Ecologia e utilização das florestas'. In: Salati, E. et al. *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo: Brasiliense; (Brasília): Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. p. 102-143.

Scotese, C. R., Boucot, A. J., Mckerrow, W. S., 1999, "Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology", *Journal of African Earth Sciences*, v. 28, n. 1, pp. 99-114. doi: 10.1016/S0899-5362(98)00084-0 Shukla, J.; Nobre, C.; Sellers, F. P. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science*, v. 247, p. 1322-1325.

Sell, I., 2005. *Utilização da regressão linear como ferramenta de decisão na gestão de custos*. In: IX CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 2005, Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina.

Seyler F., Muller F., Cochonneau G., Guimarães V., Guyot J.L. 2009. Watershed delineation of the Amazon sub-basins system using GTOPO30 DEM and a drainage network obtained from JERS SAR images. *Hydrological processes*.

Shukla, J.; Nobre, C.; Sellers, F. P. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science*, v. 247, p. 1322-1325.

Silva, A. M.; Schulz, H. E.; Camargo, P. B. 2003. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. Alexandre Marco da Silva, Harry Edmar Schulz, Plínio Barbosa de Camargo – São Carlos: *RiMa*, 2003. 140p.

Silva, L. P. & Maniesi, V. 2005. Avaliação dos limites de uso e ocupação e as pequenas centrais hidrelétricas da sub-bacia do rio Enganado – Rondônia: uma proposta de uso sustentável. *Geociências*, v. 24, n. 3, p. 267-276.

Silva, J. S. 2010. *Altimetria espacial aplicada aos estudos de processos hídricos em zonas úmidas da bacia Amazônica*. 279 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Sioli H. 1950. Das Wasser im Amazonasgebiet. *Forsch.u.Fortschr.*, 26:274-280.

Sioli H. 1975. Amazon tributaries and drainage basins. In: Hasler A.D. (ed.) *Coupling of Land and Water Systems*. New York, Springer Verlag, p. 199-213.

Sioli H. (ed.) 1984. *The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin (Monographiae Biologicae)*. Dordrecht, Pub. Junk, 800 p.

Soares, S. R. 2003. Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. Disponível em: <http://www.ens.ufsc.br/~soares>. Acesso em: 13/06/2010.

Sombroek, W. G. 1966. Amazon soils. A reconnaissance of the soils of Brazilian Amazon region. Wageningen, 292 p.

Sombroek, W. G. 1984. Soils of the Amazon region, 521-535. In: *The Amazon*, Sioli, H. (ed.), W. Junk, Dordrecht.

Sombroek, W. G. 1999. Aspects of soil organic matter and nutrient cycling in relation to climate change and agricultural sustainability. In: Symposium on Nuclear and related techniques in soil-plant studies on sustainable agriculture and environmental preservation. Vienna. *Proceedings Intern...* Vienna: IAEA/FAO Joint Division. p. 15-26.

Soille, P.; Vogt, J.; Colombo, R.; 2003. "Carving and adaptive drainage enforcement of grid digital elevation models", *Water Resources Research*, Vol. 39, No. 12, 1366.

Sousa, Luís de.; Nery, F.; Matos, J. 2005. Metodologias de processamento de dados SRTm para a produção de modelos digitais de direcções de escoamento. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos.

Star, J. & Estes, J., 1991. *Geographic Information Systems: an Introduction*. Englewoods Cliffs, New Jersey.

Sternberg, H. O'R. 1975. The Amazon River of Brazil. *Geographische Zeitschrift* 40. 174 pp.

Sternberg, H. O'R. 1995. Waters and wetlands of brazilian Amazônia: an uncertain future. In: Nishizawa T. e Uitto J.I. (eds.) *The fragile tropics of Latin American: sustainable management of changing environments*, United Nations University Press, Tokyo.

Stevenson, W. J. 1986. Estatística aplicada à administração. São Paulo: Harbra, p. 341.

- Suguio, K. 2003. *Geologia sedimentar*. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
- Sui, D. and Maggio, R. 1999. Integrating gis with hydrological modeling: practices, problems and prospects. *Computers, Environment and Urban Systems*, v.23, p.33-51.
- Summerfield M.A. & Hulton N.J. 1994. Natural Controls of Fluvial Denudation Rates in Major World Drainage Basins. *Journal of Geophysical Research*, 99:13871-13883.
- Teixeira, L. B. 2001. “Evidência geofísica de rifts precusores nas bacias paleozônicas do Amazonas, Paraná, Parecis, Parnaíba, Solimões e Alto Tapajãs”. In: Melo, J. H. G., Terra, G. J. S. (eds.), *Correlação de Sequências Paleozóicas Sul-americanas*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 7p. (Ciência-Técnica-Petróleo, Seção Exploração de Petróleo, 20). 1 CD-ROM.
- Teixeira, W., Geraldés, M. C., Matos, R., Ruiz, A. S., Saes, G., Vargas-Mattos, G., 2010, “A review of the tectonic evolution of the Sunsás belt, SW Amazonian Craton”, *Journal of South American Earth Sciences*, v. 29, n. 1, pp. 47-60. doi: 10.1016/j.jsames.2009.09.007.
- Thoutin, T., Mattar, K.; Brisco, B.; Gray, L.; M. 2000. Producción de MDA a partir de Radarsat: panorama y exemplos. *Revista Cartografica*, Instituto Panamericano de Geografía y Historia, 135-174.
- Tkach, R. e Simonovic, S., 1997. A new approach to multicriteria decision making in water resources, *Journal of Geographical Information Decision Analysis*, v.1, n° 1, pp. 25-43.
- Disponível em: http://publish.uwo.ca/~jmalczew/gida_1/Tkach/Tkach.hym Acesso em 10/01/2008.
- Tonello, K. C. *Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões*, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- Tomlin, D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. New York. Prentice Hall.
- Tomer, M. D.; Schilling, K. E. 2009. *Journal of Hydrology*, v. 376: 24–33.
- Torres, T. G. 2004. Extração do divisor de água da bacia Guariroba. Campo Grande – MS, utilizando modelo digital de elevação. *Gis Brasil*.

Tucci, C. E. M. 1998. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul RGS.

Tucci, C. E. M. 2007. Mudanças climáticas e impactos sobre os recursos hídricos no Brasil. *Ciência e Ambiente*, v. 34, p. 137-156.

Tucci, C. E. M. 2009. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH.

Tricart, J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 91p.

Valeriano, M. M. 2004. *Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul*. Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Valeriano, M. M. 2008. *TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais*. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Vanoni, V. A. 2006. *Sedimentation engineering, prepared by the ASCE Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation of the Sedimentation Committee of the Hydraulics*.

Vestena, L. R. 2008. *Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem*. 2008. 182 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.

Viers, J., Rodaz, M., Filizola, N., Guyot, J. L., Sondag, F., Brunet, P., Zouiten, C., Boucayrand, C., Martin, F., Boaventura, G. R., 2008, “Seasonal and provenance controls on Nd-Sr isotopic compositions of Amazon rivers suspended sediments and implications for Nd and Sr fluxes exported to the Atlantic Ocean”, *Earth and Planetary Science Letters*, v. 274, pp. 511-523.

Villela, S. M.; Mattos, A. 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGrawHill do Brasil. 245p

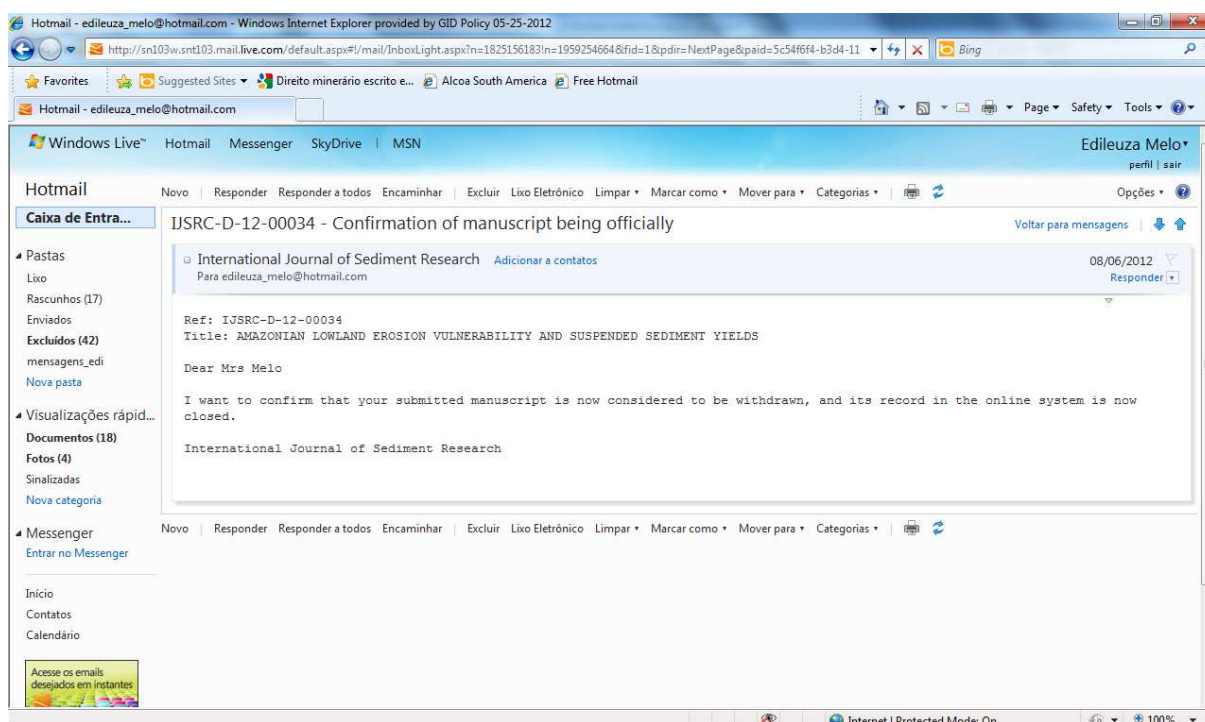
Wang, X. D.; Zhong, X. H.; Liu, S. Z.; Liu, J. G.; Wang, Z. Y.; Li, M. H. 2008. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*, v. 72, p. 1929-1939.

World Meteorological Organization - WMO. 1994. Guide to hydrological practices – data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. 15th ed. World Meteorological Organization n^o. 168. p. 259-287.

Yuqian, L. 1989. Manual of operational methods for the measurement of sediment transport. WMO, World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.

Zonneveld, I. S. 1989. The land unit – a fundamental concept in landscape ecology and its applications. *Landscape Ecology*, v.3, n. 2, p.67-86.

ANEXO A – ARTIGO 6 – AMAZONIAN LOWLAND EROSION VULNERABILITY AND SUSPENDED SEDIMENT YIELDS



ANEXO B - ARTIGO 5 – Estudo comparativo de índices morfométricos nas bacias dos rios Juruá e Purus – região Amazônica

CIÊNCIA & AMBIENTE
www.ufsm.br/cienciaeambiente

Santa Maria (RS), 15 de agosto de 2012.

ATESTADO

Atesto, para os devidos fins, que o artigo "Estudo comparativo de índices morfométricos nas bacias dos Rios Juruá e Purus - Região Amazônica", de autoria de Edileuza Carlos de Melo, Naziano Pantoja Filizola Jr. & Jean Loup Guyot, foi aceito para publicação na edição nº 44 (janeiro-junho de 2012) da revista *Ciência & Ambiente* dedicada ao tema "Biodiversidade e Sociodiversidade".

Ciência & Ambiente é um periódico publicado semestralmente pelos Centros de Ciências Rurais, de Ciências Sociais e Humanas e de Ciências Naturais e Exatas da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Prof. Delmar Bressan
Editor