

## Mapeamento dos ambientes aquáticos e da cobertura da terra na Bacia do Rio Purus, Amazonas, Brasil

Alberto Furtado Martins Junior<sup>1</sup>  
Andréa Viviana Waichman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Amazonas - UFAM  
Caixa Postal 3000 - 69077-000 - Manaus - AM, Brasil  
albertonhamunda@hotmail.com;

**Abstract.** The present work aims to map and characterize the aquatic environments and the ways of use and occupancy of land along the basin of Purus river. To implement this work were used images of optical sensor TM / satellite Landsat 5. The software was used SPRING. The floodplain covers an area of 22,184 km<sup>2</sup>. The lakes dendritic present the largest area, followed by the mixed compound, elongated, horseshoe-shaped and circular / oval. However, in terms of quantity this order is not followed, and the horseshoe-shaped lakes are the most common, followed by elongated. The clearing of forests between 1997 and 2007, had a growth of 1.94%, making 7263, 003 km<sup>2</sup> of deforested area. Among the municipal areas along the basin, the rates of deforestation occurring in a very uneven with the largest municipalities in those belonging to the state of Acre, mainly Rio Branco, Plácido de Castro, Senator Guimard and Sena Madureira, while municipalities in Amazonas, the Deforestation was most intense in Lábrea and breadth of Acre. The coverage of primary forest in the Rio Purus Basin is almost intact compared to the other, matching the highest percentage of the total area, for this is considered a basin that is still largely state of conservation in the Brazilian Amazon. Therefore, measures and management programs are needed to maintain the state of conservation of the basin.

**Palavras-chave:** remote sensing, floodplain, lakes, deforestation, sensoriamento remoto, várzea, lagos, desmatamento.

### 1. Introdução

Bacia hidrográfica corresponde a um sistema biofísico e sócio econômico, integrado e interdependente, seus limites são estabelecidos topograficamente pela linha que une os pontos de maior altitude e que definem os divisores de água entre uma bacia e outra adjacente (Suguo e Bigarella, 1990).

A planície inundável do Rio Purus abrange um dinâmico sistema de lagos de distintos tipos, os quais formam um intrincado mosaico de várzea que sustenta uma grande biodiversidade de peixes da região influenciada diretamente pela principal dinâmica ecológica da planície de inundação, o pulso de inundação (Junk, 1997).

Para a compreensão da dinâmica ambiental de uma bacia, é indispensável à elaboração do monitoramento do uso e ocupação do solo, utilizando-se do sensoriamento remoto, que propicia além da geração de riquíssimas informações espaciais, a possibilidade de evolução histórica dessa ocupação, portanto, o uso do sensoriamento remoto permite, não só a caracterização e quantificação dos ambientes aquáticos e do uso da terra nas áreas adjacentes, como se constitui em uma ferramenta de suporte à gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivos mapear e caracterizar os ambientes aquáticos da Bacia do Rio Purus, permitindo realizar uma análise quantitativa da distribuição dos diferentes sistemas lacustres, segundo sua classificação morfológica, buscando também,

determinar as formas de uso e ocupação do solo na bacia, uma vez que ambos têm impacto na qualidade dos ambientes aquáticos estudados.

## 2. Área de estudo

A Bacia do Rio Purus drena uma área de 375.458,46 km<sup>2</sup>, 271.705,26 km<sup>2</sup> no Estado do Amazonas, 77.829, 85 km<sup>2</sup> no Estado do Acre, 21.932,13 km<sup>2</sup> no Peru, 1.689,53 km<sup>2</sup> na Bolívia (Figura 1). O rio Purus é um dos nove tributários mais importantes do rio Amazonas, percorre aproximadamente 3.700 km, desde a sua nascente no Peru, percorrendo os estados do Acre e Amazonas, até desembocar no rio Solimões, num delta de 240 km.

A Bacia do Rio Purus abrange uma das maiores áreas de várzea dentre os tributários do sistema Solimões-Amazonas, a qual abriga grande quantidade de lagos de várzea. É classificado como rio de água branca, apresentando padrão sinuoso a meândrico, e água barrenta rica em sedimentos andinos.

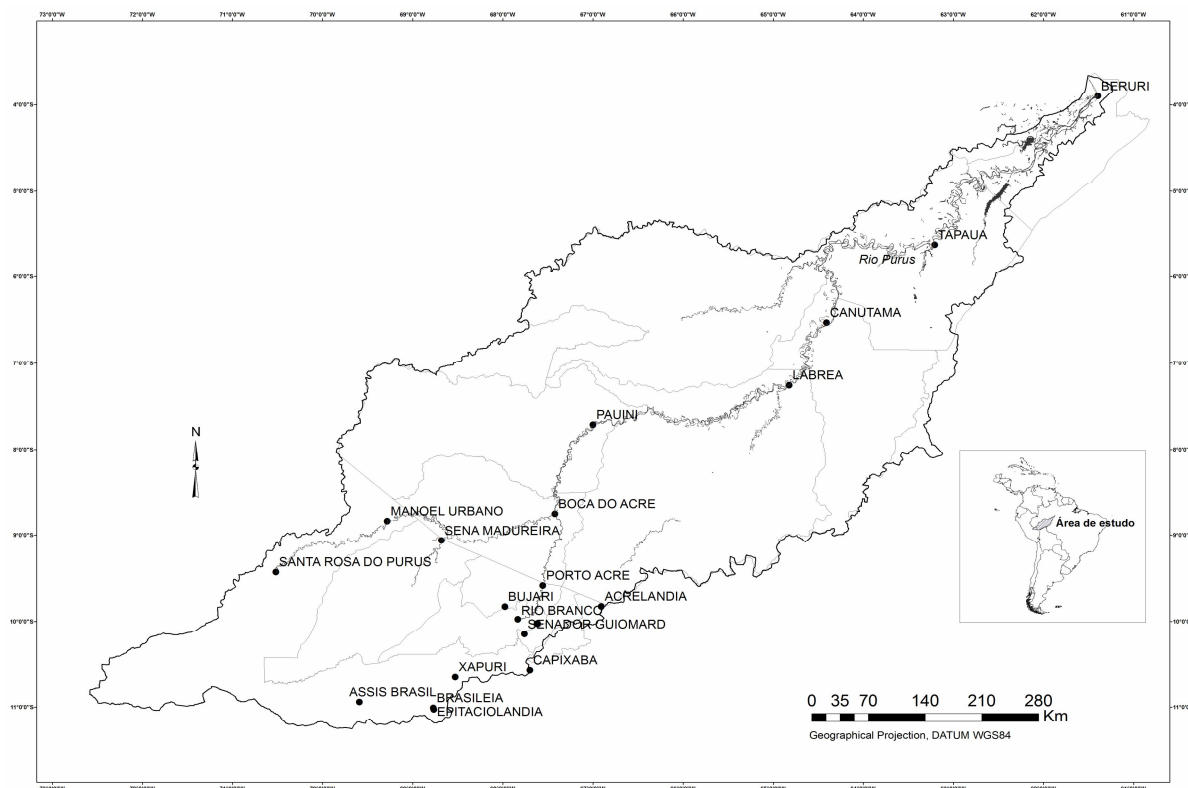


Figura 1. Área de estudo.

## 3. Materiais e métodos

Para a execução desse trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM/Landsat- 5, com resolução espacial de 30 metros. A Bacia do Rio Purus é coberta por 25 cenas. Para a classificação e mapeamento dos ambientes aquáticos da bacia foram utilizadas dois conjuntos de cenas, um referente à época de vazante e outro referente à época de cheia. Já para o estudo do desmatamento e das formas de uso e ocupação do solo utilizou-se uma série temporal de cenas, um conjunto de 1997 e outro de 2007 (Tabela 1).

Tabela 1. Órbita/ponto e data das cenas TM/Landsat utilizadas.

Órbita/ponto	Data_Vazante	Data_Cheia	Data_1997	Data_2007
003/068	18/9/1999	19/7/2006	10/7/1997	23/8/2007
002/068	21/9/1991	16/6/1985	5/9/1997	31/7/2007
005/067	20/9/1989	30/6/1994	24/7/1997	21/8/2007
004/067	16/9/1990	1/7/1991	19/9/1997	14/8/2007
003/067	14/8/1998	9/7/1985	10/7/1997	23/8/2007
002/067	22/8/1986	6/7/1998	19/7/1997	31/7/2007
001/067	27/9/1990	8/8/2001	13/8/1997	25/8/2007
233/067	18/9/2001	15/7/1989	21/7/1997	1/7/2007
004/066	19/9/1997	1/7/1991	19/9/1997	29/7/2007
003/066	9/9/1996	13/7/1998	10/7/1997	23/8/2007
002/066	18/9/1990	6/7/1998	19/7/1997	31/7/2007
001/066	27/9/1990	30/5/1987	12/7/1997	25/8/2007
233/066	5/10/2007	11/6/2000	21/7/1997	5/10/2007
232/066	22/9/1999	2/6/1999	14/7/1997	27/8/2007
003/065	9/9/1996	28/5/1987	10/7/1997	23/8/2007
002/065	22/8/1986	28/6/2001	20/8/1997	12/5/2007
001/065	27/9/1990	5/6/1995	12/7/1997	8/7/2007
233/065	5/10/2007	11/6/2000	7/9/1997	5/10/2007
232/065	21/8/1999	25/6/1996	15/8/1997	27/8/2007
002/064	18/9/1990	9/7/1999	20/8/1997	12/5/2007
001/064	27/9/1990	28/6/1986	12/7/1997	25/8/2007
233/064	30/8/2000	21/6/1992	7/9/1997	1/7/2007
232/064	16/9/1997	17/6/1993	14/7/1997	27/8/2007
232/063	19/9/1998	17/6/1993	16/9/1997	27/8/2007
231/063	25/9/1991	23/6/1992	21/6/1997	29/7/2007

Para o processamento digital das imagens, utilizou-se o software SPRING (Sistema de Processamento de Informação Georeferenciada) versão 4.3.

Em linhas gerais, a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho consistiu no georeferenciamento (registro) das imagens, seguida do mosaico, classificação e interpretação das classificações geradas. Além das atividades práticas de geoprocessamento, a fundamentação teórica do projeto foi realizada com base em revisão da literatura científica.

Os mosaicos referentes à época de cheia e de vazante, foram recortados por meio da máscara de áreas alagáveis produzida por Hess *et al.* (2002). O uso dessa máscara permitiu suprimir a terra firme (área não-alagável) da área de estudo (Figura 2), otimizando o tempo de processamento da segmentação e determinação de parâmetros adequados para a segmentação das imagens dos mosaicos, com objetivo de mapear áreas alagáveis.

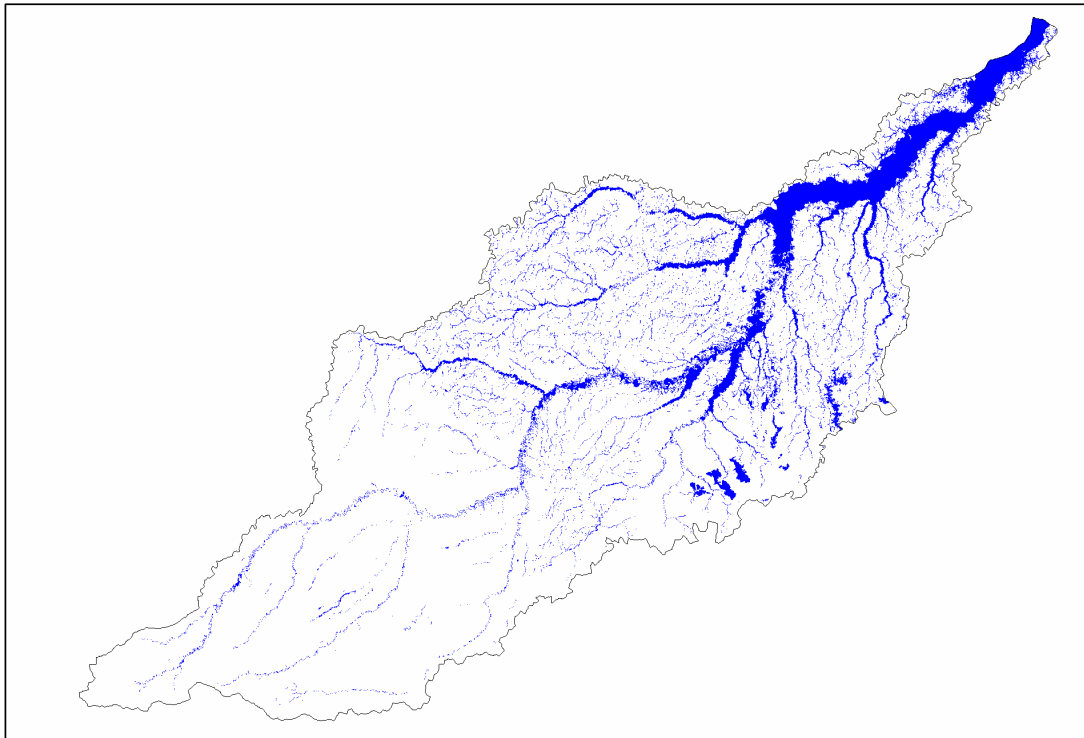


Figura 2. Máscara usada para o recorte de áreas alagáveis da Bacia do Rio Purus.

O método de segmentação utilizado nesta pesquisa foi o de “crescimento de regiões”. Este método foi aplicado com o objetivo de compor segmentos específicos para as áreas de água aberta, separando-as das áreas não alagáveis. A técnica por crescimento de regiões é um processo interativo pelo qual os pixels vão sendo agrupados segundo algum critério de similaridade, formando regiões (Bins *et al.*, 1996). No projeto-teste foram testados três limiares de similaridade – 5, 8 e 15 - e área – 10, 15 e 20. Como resultado, obteve-se melhor identificação das classes utilizando-se os limiares de similaridade 10 e de área 15, os quais passaram a ser utilizados.

Após a segmentação, realizou-se a classificação dos mosaicos. A classificação não-supervisionada, na qual o algoritmo de classificação avalia em qual classe alocar cada região em função de seus atributos estatísticos, de média, matriz de covariância, e também pela área se mostrou mais eficiente neste experimento, devido: (1) à grande variabilidade de ambientes; (2) tipos de cobertura dentro da área de estudo e (3) insuficiência de dados de campo. A técnica de classificação não-supervisionada utilizada nesta pesquisa foi a ISOSEG.

Finalmente utilizou-se da ferramenta da edição matricial. Para corrigir os erros gerados na classificação, editou-se grande parte das imagens classificadas, eliminando ou adicionando polígonos das classes de interesse.

### 3.1 Definição das classes

A Classificação dos sistemas de lago foi feita baseada em terminologia geomorfológica adaptada de Hutchinson (1975), Melack (1984) e Rozzo *et al* (2003). Na

classificação considerou-se as seguintes formas de lagos: *Alongado, circular/oval, composto/misto, dendrítico e ferradura*.

A definição de classes de uso e cobertura da terra baseou-se inicialmente naquelas adotadas pelo PRODES (Projeto de Estimativa do Desmatamento Bruto da Amazônia): *desmatamento, floresta primária e secundária, hidrografia e nuvem*. Entretanto, foi possível adicionar outras classes como *áreas urbanas e banco de macrófitas*. Optou-se pela adoção de classes mais “gerais” pela ausência de verdade de campo ou mapa de cobertura da terra da área de estudo para as datas das imagens em análise. É importante ressaltar que estas classes ainda têm definição ampla e incluem diferentes coberturas, como no caso da classe *desmatamento*, onde esta engloba além do desmatamento, coberturas e usos da terra como cultivos agrícolas, pastagens e solo exposto, que provavelmente seria utilizado para agricultura e pecuária.

Por meio da análise temporal das imagens de 1997 e 2007 foi possível detectar a dinâmica das classes de cobertura da terra na região de estudo. As áreas das classes nas classificações geradas foram convertidas para porcentagem de ocupação da área da bacia.

#### **4. Resultados e discussão**

Na segmentação das imagens o valor de limiar de área 10 foi o melhor resultado para a época de vazante. Nesta imagem este limiar permitiu uma melhor delimitação das áreas de transição entre áreas alagáveis e de água aberta. Por outro lado, para a imagem de cheia o melhor resultado foi obtido com o limiar de área 50. Após a segmentação, aplicou-se a classificação não-supervisionada ISOSEG nas imagens. Devido aos resultados satisfatórios dos experimentos realizados optou-se pelo limiar de aceitação 95%, tanto para a época de cheia quanto para a de vazante, considerando-os mais adequado para os objetivos deste trabalho.

No contexto dessa pesquisa, os erros de classificação ocorreram em áreas de transição entre água aberta e a vegetação inundável (macrófitas). Devido à dinâmica sazonal da planície de inundação a discriminação entre vegetação aquática e terrestre é difícil, pois alguns destes apresentam adaptações para ambos os ambientes (Junk, 1997).

A várzea da Bacia do Rio Purus abrange uma área de aproximadamente 22.184 Km<sup>2</sup>, representando 5,90% da área total de estudo. A função ecológica dessas áreas vem sendo destacada principalmente com relação ao aporte de nutrientes, que propagam as trocas de energia nas cadeias tróficas resultando na maior produtividade destas áreas (Junk *et al.*, 1989). De acordo com Batista e Petreire(2003), a origem da produção pesqueira desembarcada em Manaus está diretamente associada com os ambientes que constituem a planície de inundação ou várzea. Em relação à área total de inundação da Bacia do Rio Purus, os rios ocupam 62,19% de uma área de 6.028,43 Km<sup>2</sup> e os lagos representam 37,81% desse total

Em termos de área os lagos dendríticos são os maiores, ocupando uma área correspondente 1.363,86 Km<sup>2</sup>, divididos em 324 lagos, representando 15,87% do total. Os lagos em forma de ferradura foram os mais abundantes ao longo da bacia, respondendo por 35,81% do total, porém ocupam uma área de apenas 420,43 Km<sup>2</sup>. Do total, 182 lagos tem a forma composto/misto, mas que ocupam a segunda maior área de lagos, 1.258,45 Km<sup>2</sup>. Como lagos alongados foram classificados 620, representando 487,76 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 30,37% do total. Os menos representativos foram os lagos circulares/ovais, onde encontrou-se apenas 187, os quais representaram uma área de 134,56 Km<sup>2</sup> (Tabela 3).

Tabela 3. Total de lagos da área de estudo, por classe geomorfológica, identificados nas imagens TM Landsat.

<b>Morfologia Lacustre</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº de lagos</b>	<b>%</b>
Lagos alongados	487,76	620	30,377
Lagos compostos/mistos	1.258,45	182	8,917
Lagos dendríticos	1.363,86	324	15,875
Lagos ferradura	420,43	731	35,816
Lagos circulares/ovais	134,56	184	9,015
<b>Total</b>	<b>3665,06</b>	<b>2041</b>	<b>100,00</b>

Na região mais representativa da planície, Baixo Purus, a morfologia lacustre mais comum é a dendrítica, seguida das formas alongadas, compostas/mistas e circulares/ovais. No Médio Purus predomina lagos do tipo ferradura e alongados. O fato dos lagos dendríticos ocuparem grandes áreas está relacionado à sua origem ligada a coalescência de rias e lagos típicos da planície de inundação (Mertes *et al.*, 1995). A principal característica que deve ser destacada é que os lagos dendríticos de Terra Firme vêm sendo explorados pela pesca profissional há mais de 30 anos, e ainda assim, o rendimento pesqueiro continua com níveis elevados (Rozzo *et al.*, 2003).

De acordo com Batista e Petreire (2003) a produção pesqueira total desembarcada em Manaus tem maior contribuição da Bacia do Purus, seguida do Médio Solimões. No estudo de Nolan (2005), a pesca de lagos respondeu por cerca de 30% do total desembarcado no porto de Manaus, concentrando-se no eixo Solimões-Amazonas e Purus, que representam juntos cerca de 89% dos registros de desembarque da pesca lacustre.

Os estudos realizados na Bacia do Rio Purus resultaram na identificação e mapeamento de sete classes de cobertura e uso da terra: 1) Floresta Primária; 2) Vegetação secundária; 3) Áreas de Desmatamento; 4) Área Urbana; 5) Banco de Macrófitas; 6) Nuvem, e 7) Hidrografia, cada qual compreendendo uma ou mais unidades de mapeamento.

Os resultados da classificação e edição dos mosaicos estão apresentados nos mapas correspondentes às figuras 3 e 4. Foi possível a comparação entre as áreas que as classes ocupavam nas diferentes datas de estudo. A área de estudo sofreu um intenso processo de alteração da cobertura florestal no período de análise. Em 1997, cerca de 13.347,10 Km<sup>2</sup> (3,55%) da área de floresta primária havia sido desmatada, enquanto que em 2007 a área desmatada atingiu 20.610,103 Km<sup>2</sup>, 5,48% da área total, com um remanescente florestal correspondendo a 85,83% da cobertura original.

Menezes (2001) calcula que 139 municípios cobrindo uma área de 123 milhões de hectares respondem por 77,4% dos desmatamentos totais na Amazônia legal. Ao analisar as figuras 3 e 4, percebe-se que as maiores áreas de desmatamento ao longo da bacia, concentram-se nas proximidades dos municípios de Rio Branco, Sena Madureira, Plácido de Castro e Senador Guiomard, no estado do Acre, e Lábrea e Boca do Acre, no estado do Amazonas. O município mais afetado pelo desmatamento foi Plácido de Castro, que atualmente possui cerca de 71% de sua área desmatada. Senador Guiomard até 2007 já tinha aproximadamente 68% de seu território desmatado, o que corresponde a 1.287,30 Km<sup>2</sup>. Rio Branco, a capital do Acre, de 2000 a 2007 teve um crescimento de 6,37% em sua área deflorestada. Já no estado do Amazonas, Lábrea apresentou um crescimento de pouco mais de 240% de área desmatada ao longo desses anos, enquanto Boca do Acre, perdeu o equivalente a 696,60 Km<sup>2</sup> de vegetação nativa ou 8,0% da área total do município.

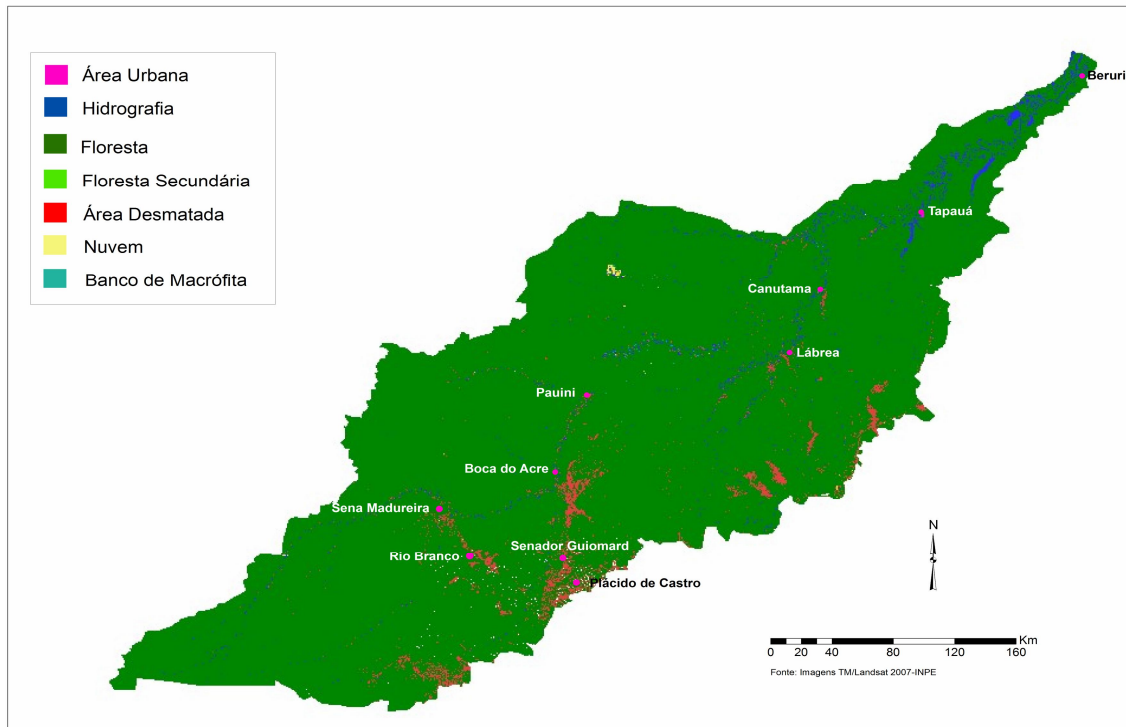


Figura 3. Mapa temático de uso e ocupação das terras da Bacia do Rio Purus para 1997.

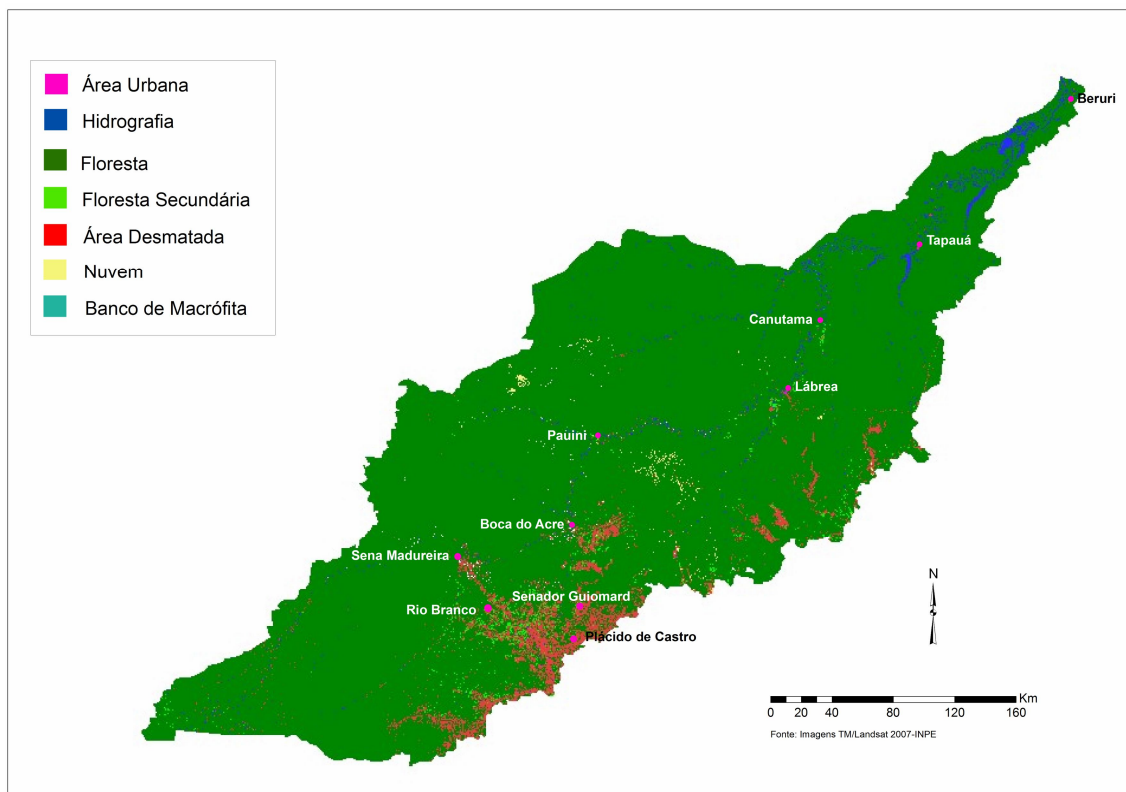


Figura 4. Mapa temático de uso e ocupação das terras da Bacia do Rio Purus para 2007.

## 5. Conclusões

A várzea contempla uma área de 22.184 Km<sup>2</sup>. Os lagos dendríticos apresentam a maior área, seguido dos compostos mistos, alongados, em forma de ferradura e circulares/ovais. No entanto, em termos de quantidade essa ordem não é seguida, sendo que os lagos em forma de ferradura são os mais freqüentes, seguido dos alongados.

A análise temporal das classificações mostrou a dinâmica das classes de uso e cobertura da terra consideradas. O desmatamento da floresta entre 1997 e 2007, teve um crescimento de 1,94%, perfazendo 7.263, 003 Km<sup>2</sup> de área desmatada. Houve uma modesta redução na área de floresta secundária, que passou a compor a área urbana e atividades agropecuárias. Os dados também demonstraram a urbanização crescente do município no período de estudo. Entre os territórios municipais ao longo da bacia, as taxas de desmatamento ocorrem de forma muito desigual, sendo as maiores naqueles municípios pertencentes ao estado do Acre, principalmente Rio Branco, Plácido de Castro, Senador Guiomard e Sena Madureira, enquanto nos municípios amazonenses, o desmatamento foi mais intenso em Lábrea e Boca do Acre.

A cobertura de floresta primária da Bacia do Rio Purus encontra-se quase intacta em comparação com as demais, correspondendo à maior percentagem da área total, por isto é considerada uma bacia que ainda se encontra em grande estado de conservação dentro da Amazônia brasileira. Portanto, medidas e programas de gestão são necessários para manter o estado de conservação desta bacia.

### Referências bibliográficas

- Suguio, K & Bigarella, J. J. **Ambientes fluviais**. 2º edição. Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná. Brasil. 1990.
- Junk, W. J. General Aspects of Floodplain ecology with Special reference to Amazonian Floodplains. p. 3-17. **The Central Amazon Floodplain. Ecology of a pulsing System**. Ecological Studies 126. Ed. Springer. 1997. 528p
- Hess, I.; Novo, E. M. L.; Slaymaker, D. M.; Holt, J.; Steffen, C.; Valeriano, D. M.; Mertes, L. A. K.; Frug, T.; Melack, J. M.; Gastil, M.; Holmes, C. Hayward, C.. Geocoded digital videography for validation of land cover mapping in the Amazon basin. **International Journal of Remote Sensing** 23 (7). 1527-1556. 2002.
- Bins, L.S.; Fonseca, L.M.G.; Erthal, G.J. Mitsuo II, F. Satellite imagery segmentation: A region growing approach, 1996. **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador-Brazil**.
- Hutchinson, G. E. **A Treatise on Limnology**. John Wiley & Sons Inc. 540pp. 1975.
- Melack, J.M. Amazon Floodplains lakes: Shape, fetch and Stratification. Verh. Internat. Verein. **Limnol.** 22, 1278-1282p. 1984
- Menezes, M.A.. O Controle Qualificado do Desmatamento e o Ordenamento Territorial na Região Amazônica. In: **Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2001.
- Batista, V. S. Petreire Jr., M. Characterization of the commercial fish production landed at Manaus, Amazonas state, Brazil. **Acta Amazonica** (1); 53-66. 2003.
- Mertes, L. A. K.; Daniel, D. L.; Melack, J. M.; Nelson, B.; Fartinelli, B.; Forsberg, B. R. Spatial patterns of hydrology, geomorfology, and vegetation on the floodplain of the Amazon River in Brazil from a remote sensing perspective. **Geomorfology** 13: 215-232. 1995.
- ROZO, J. M. G.; CARVALHO, A. S.; NOGUEIRA, A. C. R... Análise morfológica de depósitos holocênicos do rio Amazonas, setro ilha do careiro-ilha grande do Soriano. **VIII Simpósio de Geologia da Amazônia – Manaus – Amazonas 9 a 13 novembro de 2003**. 2003