

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Biologia
Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos
Continentais

Tese de Doutorado

**Mecanismos de Transmissão de Fluxos de Água e Sedimentos
em dois Grandes Rios Aluviais Impactados pela Atividade
Humana: o Araguaia e o Paraná**

Sâmia Aquino da Silva

Maringá-PR, fevereiro de 2007.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Sâmia Aquino da Silva

**Mecanismos de transmissão de fluxos de água e sedimentos
em dois grandes rios aluviais impactados pela atividade
humana: o Araguaia e o Paraná**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Edvard Elias de Souza Filho

Maringá-PR, fevereiro/2007

À
Edgardo Latrubesse

Agradecimentos

Ao professor Dr. Edvard Elias de Souza Filho, pela confiança depositada e pelas contribuições a este trabalho.

A Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, pela possibilidade do desenvolvimento desta tese de doutorado.

Ao Cnpq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Agência Nacional de Águas e Itaipu-Binacional pelo fornecimento dos dados hidrológicos e sedimentométricos.

Ao GEMA/UEM (Grupo de Estudos Multi-disciplinares do Meio Ambiente), pela utilização das instalações.

Ao professor José Cândido Stevaux pelas contribuições, incentivo e fornecimento de bibliografias.

Ao LABOGEF-Laboratório de Geologia e Geografia Física da Universidade Federal de Goiás pela disponibilidade dos equipamentos e materiais para processamento das amostras coletadas.

Ao Projeto Controles Abióticos da Vegetação em Áreas Úmidas-Rede XIK-CABAH, CYTED/CNPq, por dispor recursos para estágios e trabalhos de campo.

Aos colegas Thiago Morato, Pedro Vieira e Maximiliano Bayer pela ajuda nas coletas e processamentos das amostras de campo.

A Edgardo Latrubesse, pelo grande incentivo e amor dedicados a mim, e pela disponibilidade com que fez tantas críticas e sugestões para o melhor desenvolvimento deste trabalho.

**Mecanismos de transmissão de fluxos de água e sedimentos em
dois grandes rios aluviais impactados pela atividade humana: o
Araguaia e o Parana.**

SUMÁRIO

Prefácio	i
1. Alterações do Regime de Fluxos e Suas Implicações Sobre os Processos de Conectividade da Planície Aluvial do Alto Rio Paraná	1-40
2. Caracterização Hidrológica e Geomorfológica dos dos Afluentes do Rio Araguaia	41-66
3. O Regime Hidrológico do Rio Araguaia: Sua Carac- terização, Importância e particularidades para a Manutenção dos Principais Ecossistemas Aquáticos do Brasil Central	67-111
4. Dinâmica das Formas de leito e Carga de Sedimentos Em Suspensão no Médio Rio Araugia e sua Relação com As Mudanças do Uso da Terra no Cerrado.	112-134

Prefácio

A tese de doutorado apresentada aqui tem como título “*Mecanismos de transmissão de fluxos de água e sedimentos em dois grandes rios aluviais impactados pela atividade humana: o Araguaia e o Paraná*”, faz parte do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos, área de concentração: Ciências Ambientais.

São apresentadas discussões sobre pesquisas hidrogeomorfológicas realizadas em dois sistemas fluviais de grande porte, um deles diretamente impactado pelo homem através de represas (Alto rio Paraná), e outro indiretamente impactado através de mudanças no uso da terra (rio Araguaia). Esta discussão foi inserida no contexto da ecologia de ambientes aquáticos. No Paraná analisou-se a importância do regime hidrológico sobre a planície fluvial atual e no Araguaia se fez uma interpretação mais integral baseada nas relações do regime hidrológico ao longo do sistema fluvial e nas interações com a planície aluvial, assim como, se quantificou o transporte de sedimentos relacionando-o com os impactos sofridos pela bacia durante as últimas décadas.

Este trabalho de doutorado faz parte de um conjunto de colaborações entre a Universidade Estadual de Maringá, através do GEMA e do Nupelia, e a Universidade Federal de Goiás, através do Laboratório de Geologia e Geografia Física-LABOGEF e o programa de doutorado em Ciências Ambientais-CIAMB, inseridos no grupo de pesquisas do CNPq: Sistemas Fluviais e Meio Ambiente.

Os resultados da pesquisa fazem parte de dois projetos internacionais: 1) Controles Abióticos da Vegetação em Áreas Úmidas-Rede XIK_CABAH, subsidiada pelo Programa de Cooperação para Ibero-América-CYTED/CNPq, no qual participam centros de pesquisas do Brasil, Argentina, México, Venezuela, Espanha e Bolívia, e 2) Land Use Impacts on the Water Resources of the Cerrado Biome, subsidiado pela NASA/LULCC no qual participam a UFG, UNB, Universidade de Stanford e Wood Holes Institute-USA.

Os fundos para desenvolvimento da pesquisa foram fornecidos através de uma bolsa do CNPq, enquanto que, trabalhos de campo, traslados e estágios de curta duração, foram subsidiados também, pelo Projeto CABAH.

Os resultados desta tese de doutorado são apresentados em quatro artigos, estruturados da seguinte forma:

O primeiro artigo “Alteração do Regime de Fluxos e suas Implicações sobre os Processos de Conectividade da Planície Aluvial do Alto Rio Paraná, Brasil” mostra uma análise sobre o comportamento hidrológico do Alto Paraná, nas estações fluviométricas de Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra, evidenciando a variabilidade e distribuição temporal dos fluxos, e a influência do fenômeno El Niño. Os dados foram analisados em distintos períodos hidrológicos identificados em função dos impactos produzidos com o manejo do sistema fluvial. Investigando o efeito da construção de barragens na frequência e permanência dos fluxos, e, como isso influencia sobre aspectos relacionados com a ecologia dos ambientes aquáticos do setor estudado.

No segundo artigo “Caracterização Hidrológica e Geomorfológica dos Afluentes da Bacia do Rio Araguaia” foi organizada uma regionalização geológica/geomorfológica, caracterizando as sub-bacias de acordo com distintas unidades geomorfológicas presentes. Também, se caracterizou o funcionamento hidrológico geral dos tributários. E, com os dados disponíveis de 11 estações presentes nos afluentes, foi determinada através de uma curva de correlação entre área de drenagem e vazão, as vazões médias correspondentes a cada uma das 51 sub-bacias inserida na bacia Araguaia.

No terceiro artigo “O Regime Hidrológico do Rio Araguaia: Sua Caracterização, Importância e Particularidades para a Manutenção dos Principais Ecossistemas Aquáticos do Brasil Central” foi caracterizado o atual funcionamento hidrológico do rio Araguaia (utilizando 9 estações fluviométricas), com ênfase na dinâmica das cheias, mostrando a distribuição das vazões para todo curso fluvial. Definiram-se também, diferentes tipos de cheias no canal principal, e se avaliou como os grandes fluxos de água podem interferir nos ecossistemas presentes na planície aluvial.

Ao contrário do Alto rio Paraná, onde já existem diversos trabalhos sobre o comportamento hidrológico atual do sistema, a bacia do rio Araguaia é praticamente desconhecida em termos de pesquisas fluviais, daí a necessidade de estudos mais detalhados sobre esse sistema.

O quarto artigo “Dinâmica das Formas de Leito e Carga de Sedimentos em Suspensão no Médio Araguaia e sua Relação com as Mudanças da Terra no Cerrado” contempla a mudança das formas de leito no setor Aruanã, baseando-se na velocidade de deslocamento linear das formas de fundo, observadas através de perfis batimétricos realizados. Foi realizada também, a quantificação do transporte de sedimentos de fundo e em suspensão, e avaliando através dos cálculos de vazão efetiva a existência de mudanças nas taxas de transporte de sedimentos nas últimas décadas.

Alteração do Regime de Fluxos e Suas Implicações Sobre os Processos de Conectividade da Planície Aluvial do Alto Rio Paraná, Brasil

Resumo

A área de estudo abordada nesta pesquisa abrange o remanescente de várzea inserida no alto curso do rio Paraná, entre a represa de Porto Primavera e Guaíra, considerado o único setor do Alto Paraná que não possui grandes intervenções humanas. O trabalho teve como objetivo analisar, através do processamento de dados que incluem vazão e cotas fluviométricas, a variabilidade e distribuição temporal dos fluxos, a influência do fenômeno El Niño e a elaboração de curvas de permanências e recorrências nas estações fluviométricas de Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra. Analisou-se, por meio da utilização de metodologias clássicas de hidrogeomorfologia fluvial, o comportamento hidrológico do sistema em três períodos que tem em consideração o aumento do impacto humano sobre o sistema fluvial: 1971 a 1981, 1982 a 1998 e 1999 a 2006.

Desde o primeiro ao terceiro período nota-se uma diminuição das permanências dos fluxos altos, assim como, da recorrência dos mesmos. Os efeitos da construção da Usina Hidroelétrica de Porto Primavera a partir de 1998 foram avaliadas, se determinando que teve um impacto significativo sobre a hidrologia do sistema fluvial.

Estes valores foram relacionados com os níveis ecologicamente importantes, sugeridos para a planície desde a ótica geomorfológica sugeridos por Rocha (2002) e Corradini (2006), assim como, testados e estudados diferenciadamente para cada intervalo temporal. As diferenças nas cotas sugeridas pelos mencionados autores permitiu discutir cenários de impacto sobre a ecologia do sistema rio-planície, e sugerir que estudos mais precisos necessitam ser feitos para determinar os valores críticos de cotas a partir dos quais se produzem as conexões rio-planície.

Abstract

The floodplain of the upper Paraná River from Porto Primavera Dam to Guaíra was studied. The area includes the last remnant of floodplain in "natural" conditions of the Parana River in Brazilian territory. The daily discharges, stages and flow variability and temporal distribution of flows as well as the ENSO events influence, time duration flows curves and recurrence curves were analyzed at three gauge stations: Porto São José, Porto Caiuá and Guaíra. The record was divided in three periods taking account the human impact on the basin. The first period extended from 1971 to 1982, the second one from 1982 to 1998 and the last one from 1999 to 2006.

Since the first period a decreasing in flow duration is detected as well as a decreasing of the recurrence period. The effect of the Porto Primavera dam construction in 1998 was very strong and affected substantially the hydrology of the fluvial system.

The hydrological regime was related with the ecologically important levels (stages) of the floodplain to guarantee the river-floodplain connections as suggested by Rocha (2002) and Corradini (2006). The river stages (levels) were tested and studied for each temporal interval. The difference in river stages necessary for connections as proposed by the authors mentioned above, permit the idealization of different scenarios on the ecology of the river-floodplain system and suggest that improvements need to be obtained in the determination of the critical values connecting the channel with the floodplain to different stages.

Palavras Chaves: Rio Paraná, planície aluvial, recorrência e permanência de fluxos

Key Words: Paraná River, alluvial plain, recurrence and duration of flows

1. Introdução

Aproximadamente 2,5% da água existente na Terra é considerada apropriada para consumo. Deste total, o Brasil dispõe de 12% desse recurso, através das bacias hidrográficas e águas subterrâneas, sendo considerado como o detentor da maior área úmida continental, representado pelo Pantanal Mato-grossense e as florestas alagadas da Amazônia, assim, como também, o subsolo das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, com cerca de 2/3 do maior manancial de água doce subterrânea do mundo, o aquífero Guarani (Tundisi, et.al. 2002).

A bacia do Rio Paraná até a estação fluviométrica Gauíra estende-se ao longo de 802.150 km² do território brasileiro, sendo o rio Paraná o principal curso d'água. É a maior da região sul-sudeste do Brasil e a mais importante do ponto de vista geopolítico, já que sua área abrange a região mais industrializada e urbanizada do país e nela se concentra quase um terço da população brasileira, representando a maior densidade demográfica, o que implica, conseqüentemente, em enormes consumos de água para abastecimento, e também para indústria e irrigação.

Existem cerca de 800 mil barragens no mundo, 45 mil delas consideradas de grande porte (mais de 15 metros acima do leito natural do rio). No Brasil, a construção de barragens começou há 120 anos, com a finalidade de armazenar água para minimizar as conseqüências das secas no Nordeste, posteriormente, passaram a ter também funções de controle de enchentes e, principalmente, gerar eletricidade. Atualmente, o Brasil é um dos 20 países em que as hidrelétricas representam a fatia mais importante da matriz energética, dispondo de um dos mais importantes potenciais hidrelétricos do mundo. Sua base energética é composta, predominantemente, por essa fonte, sendo que, aproximadamente 93% da energia elétrica gerada provêm de barragens/reservas (World Commission Dams, 2006).

A bacia do Paraná é a que sofreu maior número de represamentos para geração de energia. Existem mais de 130 barragens na bacia, considerando apenas aquelas com alturas superiores a 10 m, sendo 60 usinas hidroelétricas as principais que transformaram o rio Paraná e seus principais tributários (Grande, Paranaíba, Tietê, Paranapanema e Iguaçu) em uma sucessão de lagos. Dos 809 km originais do rio, em território brasileiro, aproximadamente 200 km ainda são de água corrente, constituindo o último trecho não represado do Rio Paraná que apresenta um amplo canal, ora com uma extensa planície fluvial com pequenas ilhas, ora com grandes ilhas e uma planície alagável mais restrita,

com aproximadamente 10 km de largura, apresentando numerosos canais secundários e lagoas (Rocha, 2002; Souza filho et al., 2004). Os reservatórios podem mais de 160 bilhões de metros cúbicos de água e um volume utilizável de 80 bilhões, o que equivale a aproximadamente 100 dias de vazões de bankfull do rio Paraná em Porto Caiuá (Souza-Filho et.al, 2004).

O custo ambiental tem sido grande para este sistema fluvial, e este remanescente de várzea tem significada importância na manutenção das espécies de peixes já eliminadas dos trechos superiores da bacia, especialmente espécies de grande porte que realizam extensas migrações reprodutivas, transformando-se, segundo Agostinho (1997), em um setor com boa representatividade da fauna original, que se torna fundamental na manutenção da diversidade biótica regional.

A área de estudo abordada nesta pesquisa abrange esse remanescente de várzea inserida no alto curso do rio Paraná, na região de Porto Rico, entre os Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. Avaliada como o único setor do Alto Paraná que não possui grandes intervenções humanas. Nessa região há também, maior concentração de pesquisas referentes à Ecologia, Quaternário e Geomorfologia do rio Paraná em território Brasileiro, no entanto, existem poucos trabalhos relacionados ao regime hidrológico do sistema, dentre os quais se destacam: Thomaz et.al.(1997), Meurer (2003), Rocha (2002), Comunello (2001), Fernandez & Souza Filho (1995), Corradini (2006), Souza filho et al., (2004).

A dinâmica da água nos canais fluviais tem ampla importância na determinação das características morfológicas e biológicas dos rios. Informações sobre o regime de máximas descargas de água também são importantes na análise sobre consequências de diferentes inundações, além de permitir inferir os níveis a partir dos quais se estabelece conexão entre diferentes ambientes da planície de inundação, definida por Junk et. al. (1989) como um sistema regulador de ampla área de ecossistemas aquáticos, representante de um mosaico de habitats com diferentes condições físicas e químicas que suportam diversas comunidades bióticas.

Com isso, um dos principais aspectos a ser pesquisado em estudos de geomorfologia e ecologia de ambientes fluviais é a distribuição das vazões ao longo do tempo e como essa distribuição interfere no modelamento do canal, na transferência de nutrientes e na conectividade com a planície, visto que, os estudos sobre ecologia de

ambientes aquáticos precisam também, serem sustentados por estudos sobre a planície aluvial.

O trabalho aqui apresentado relaciona-se com pesquisas sobre o comportamento hidrológico, e tem como objetivo analisar, através do processamento de dados que incluem vazão e cotas fluviométricas, a variabilidade e distribuição temporal dos fluxos, e a influência do fenômeno El Niño. Os dados foram analisados em distintos períodos hidrológicos identificados em função dos impactos produzidos com o manejo do sistema fluvial. Investigando o efeito da construção de barragens na frequência e permanência dos fluxos, e, como isso influencia sobre aspectos relacionados com a ecologia dos ambientes aquáticos do setor estudado.

2. Área de Estudo

O rio Paraná conjuntamente com os rios Paraguai e Uruguai conformam um dos maiores bacias do mundo, com aproximadamente 3.100.000 km², que se estende por Brasil, Argentina, Paraguai, Bolívia e Uruguai (Paoli et.al. 2000).

O rio Paraná, principal formador da bacia do Prata, é o décimo maior do mundo em descarga, e o quarto em área de drenagem, drenando todo o centro-sul da América do Sul, desde as encostas dos Andes até a Serra do Mar, nas proximidades da costa atlântica. De sua nascente, no planalto central, até a foz, no estuário do Prata, percorre 4.635 km (Rocha, 2002 apud Petri e Fúlfaro, 1983). Em território brasileiro, os principais tributários do rio Paraná são o Grande e o Paranaíba (formadores), Tietê, Paranapanema e Iguaçu.

A área de interesse desta pesquisa concentra-se no setor de Alto curso do rio Paraná, compreendida logo após a foz do rio Paranapanema e a estação hidrológica de Guaira, no rio Paraná, situada aproximadamente a 150 km do reservatório da Usina Hidroelétrica de Itaipu, representando o único setor do rio Paraná, em território brasileiro, que não possui barramentos (Figura 1).

A área em estudo está inserida em dois grandes domínios vegetacionais, o do Cerrado, no Estado de Mato Grosso do Sul e São Paulo e o da Floresta Estacional Semidecidual no Estado do Paraná, com várzeas e matas ripárias como elementos típicos desse ambiente. A distribuição das espécies, entre esses domínios de vegetação está relacionada à rede de drenagem do rio Paraná e de seus afluentes (Souza et al., 1995).

Essa região engloba três importantes estações fluviométricas: Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra (Figura 1).

A vazão média anual histórica é de aproximadamente 10.896 m³/s (1970 a 2006), medido na estação hidrológica de Guaíra, que representa o limite de jusante do trecho rio-planície de inundação do Alto Paraná.

Em todas as estações fluviométricas consideradas os períodos de cheias coincidem com a estação do verão do hemisfério sul, onde a cheia pode se dar normalmente entre dezembro e março e a vazante entre abril e novembro. Na estação fluviométrica de Porto São José o registro recorde foi de 33.740 m³/s, em 18/02/1983. Atualmente, a vazão média nesta estação é de 9.185 m³/s (1976 a 2006). Enquanto, na estação de Porto Caiuá a vazão média anual da série é de 10.241 m³/s (1990 a 2006).

Souza-Filho (1993) considera que a planície de inundação se estende por uma faixa de 6 a 12 km e um comprimento de 90 km, ocupando uma superfície plana, sendo a cobertura vegetal a principal forma de realce das formas de relevo. Destaca-se por apresentar três associações faciológicas de depósitos: sendo cascalho polimítico arenoso, areia estratificada e seixosa e lama arenosa.

A planície aluvial do rio Paraná abrange uma área com duas feições distintas, o Terraço Baixo e a Planície Fluvial, de acordo com Stevaux (1994) que definiu estas feições em unidades geomorfológicas.

De forma geral, Souza-Filho e Stevaux (1997) descrevem o rio Paraná como multicanal e com talvegue principal situado junto à margem esquerda. A jusante de Porto Rico, o canal do Paraná (seção unicanal) encontra-se dividido por extensos arquipélagos até as proximidades da foz do rio Ivinhema, onde apresenta novamente um trecho de canal único.

No segmento estudado, o rio Paraná apresenta um padrão de canal anastomosado, onde ilhas vegetadas relativamente longas separam o canal principal em canais secundários de diferentes hierarquias, porém, a dinâmica fluvial não é característica do referido padrão, visto que o leito é dominado por barras arenosas do tipo transversal e lençóis de areia com alta mobilidade (Souza Filho et al 2004). Contudo, graças à barragem de Porto Primavera, o suprimento detrítico foi cortado, e o leito móvel está sendo removido. Em função deste processo de ajuste, os trinta primeiros quilômetros a jusante da barragem já podem ser considerados como erosivos.

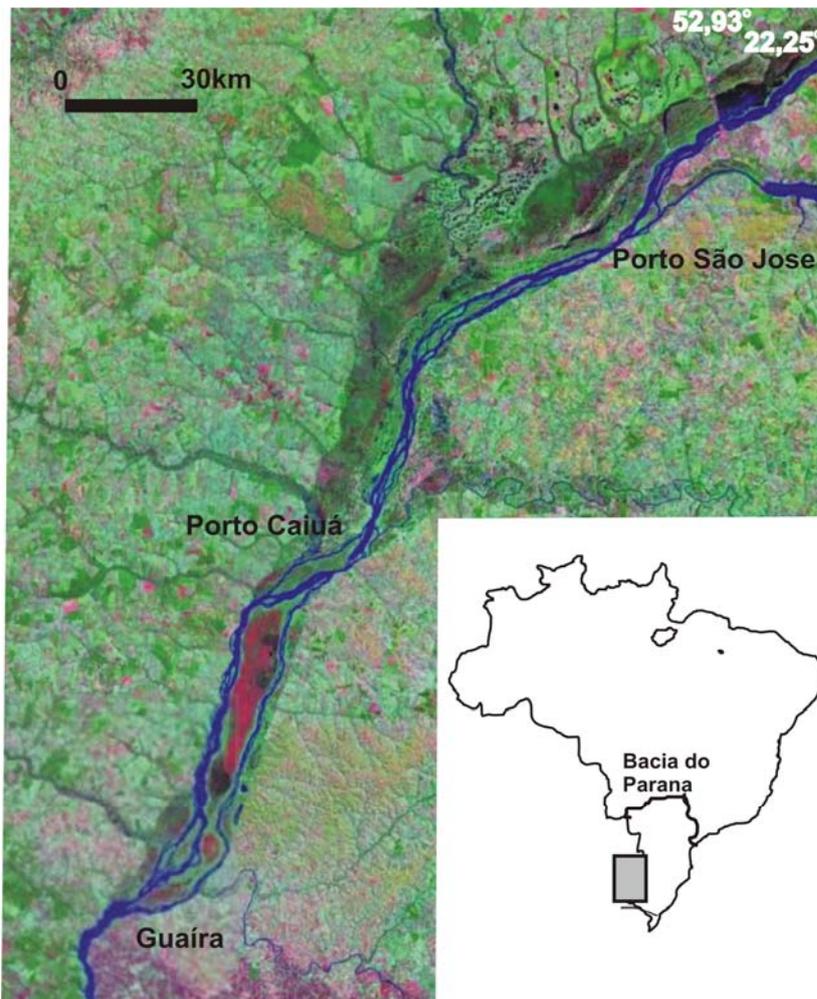


Figura 1: Área de estudo e localização das tres estações fluviométricas estudadas.

Corradini (2006) identifica as sub-unidades geomorfológicas da planície aluvial na região de Porto São José-Porto Rico, levando em consideração sua topografia e cobertura vegetal, e as classifica com as seguintes denominações e características:

1) Unidade Dique Marginal (UDM), representada por diques marginais e leque de crevasse (*crevasse splay*) ocupando uma estreita faixa orientada no sentido do fluxo do rio. Levantamento da vegetação feito por, Souza-Stevaux, et.al. (1995) e Fachini (2001) revelaram a presença de *Sloanea guianensis*, *Cecropia pachystachya*, *Guarea macrophylaa*, *Triplaris americana*, *Uninopsis lindmanii*, *Piper tuberculatum*, *Zygia cauliflora*, *Inga uruguensis*. Essa unidade também corresponde ao que Souza Filho (1993) denominou de conjunto de diques paralelos ao canal, e outro transversal ao canal ativo.

2) Unidade Planície Alta (UpA) apresenta relevo plano e plano-ondulado. Com amplitude de 4,2 m. O estrato herbáceo está composto por gramíneas, além de espécies

nativas e estrato arbustivo formando aglomerados de *Mimosa pigra*, *Lippia alba*, *Hibiscus cisplatina* e *Cróton urucurana*, além das lianas *Similax camprestis*, *Paullinea ellegans*, *Cayaponia podantha* e *Ipomea sp.* Também, essa unidade foi designada por Souza Filho (1993) como unidade de paleobarras.

3) Unidade Planície Baixa (UpB) maior unidade mapeada da planície com 44% (31 km²). Esta unidade representa áreas baixas e de baixios, e corpos d'água associados ao comportamento hidrométrico, sujeito às flutuações em toda a rede de escoamento. O estrato herbáceo apresenta algumas espécies nativas da região representadas por: *Ludwigia spp*, *Hibiscus cisplatinus*, *Pfaffia glomerata*, *Panicum prionites*, *Polygonum spp*, *Cuphea sp* *Pontederia sp* e *Paspalum repens*, e no estrato arbustivo: *Mimosa pigra* e *Mimosa velloziana*. Essa unidade também está designada como bacia de inundação (Souza Filho 1993).

4) Unidade de Escoamento (UE) apresenta em seu segmento uma variação topográfica ora baixa e ora elevada entre 234,6 e 236,7 m com feições marcantes de canais inativos e abandonados (paleocanais), pântanos e brejos, representando 3,11% ou 2,18 km² de área. O estrato herbáceo é composto por *Panicum prionitis*, *Pfaffia glomerata*, *Hibiscus cisplatinus*, *Polygonum acuminatum*, *P. ferrugineum*, entre outras. Esse setor corresponde a unidade de paleocanais de Souza Filho (1993).

5) Unidade Planície Alto/Setor Indiferenciado (UpaSI) sua topografia apresenta valores próximos a UpA com estrato predominante da vegetação o mesmo encontrando na unidade UpA. Souza Filho (1993) descreveu essa unidade como o estágio inicial de crevasse do sistema anastomosado pré-atual.

6) Unidade Mutum abrange as ilhas Porto Rico, Chapéu Velho, Carioca, Japonesa, Mutum e as barras arenosas. Nesta área de estudo em função do seu complexo sistema de evolução, o que lhe configura características peculiares próprias, pode-se destacar a Sub-Unidade Mutum-Alto e Sub-Unidade Mutum-Baixo, que apresentam condições geomórficas das UpA, UDM, UpB e EU. Nas elevações alongadas, a tipologia vegetal é semelhante a do dique marginal com maior desenvolvimento do tipo arbóreo *Inga uruguensis*, *Croton urucurana*, *Cecropia pachystachya*, *Nectandra falcifolia*, *Annona Coriaceae*, *Triplaris americana*, *Rollinia emarginata*, *Tabernaemontana catharinensis*, *Zygia cauliflora*. Essa unidade foi descrita por Souza Filho (1993) como o estágio de desenvolvimento de canais estáveis do sistema anastomosado pré-atual.

Todas as unidades mencionadas constituem um conjunto de feições que teriam sido desenvolvidas no período anterior a 1500 anos atrás, quando o rio Paraná era um sistema anastomosado ativo (Souza Filho, 1993; Souza Filho e Stevaux 1997; Souza Filho et al 2004, além de outros).

3. Metodologia

Foram analisadas séries históricas hidrológicas que compreendem 31 anos de registro (1976 a 2006) para a estação de Porto São José, 17 anos de registro para a estação de Porto Caiuá (1990 a 2006), e uma série de 37 anos (1970 a 2006) para a estação de Guaíra (Figura 1).

Neste estudo foram utilizados os registros de cota fluviométrica e vazões, fornecidos pela ANA-Agência Nacional de Águas e Itaipu Binacional, dos quais foram elaborados: fluviogramas-hidrogramas, intervalos de recorrência e curvas de permanência de fluxos.

Na elaboração dos fluviogramas de cota e vazão foram utilizados valores médios diários. Alguns foram normalizados em relação à média da série, obtidos através da divisão de cada valor diário pelo valor da média da série histórica correspondente.

Para a análise de frequência de enchentes foi utilizada uma série de enchentes máximas anuais, que se constitui dos mais altos picos diários da água em cada ano, organizada por ordem de magnitude dos valores. Essa ordem de magnitude de cada vazão da série é calculada em um intervalo de recorrência (IR) em anos, a partir da seguinte fórmula: $IR = n + 1/m$. Onde \underline{n} é o número de vazões da série, e \underline{m} é a ordem de magnitude de cada vazão, adquirindo-se assim, o intervalo de recorrência em anos.

Cada magnitude de vazão é plotada diante do seu intervalo de recorrência ou probabilidade de ocorrência. Aqui, as curvas de frequências foram ajustadas usando a distribuição estatística de Gumbel.

Existem várias outras distribuições estatísticas de probabilidade que são comumente utilizadas para ajustar a curva de distribuição de enchentes máximas anuais, tais como: Distribuição lognormal, Distribuição de Gumbel Type I – valores extremos; Distribuição de Gumbel Type III – valores extremos e Distribuição de Pearson III.

Segundo Dunne e Leopold (1998), comparações realizadas entre as diferentes distribuições de probabilidade mostram extrapolações de linhas que podem conduzir a

estimativas diferentes de magnitudes de enchentes raras. O grau de incerteza de aceitar semelhantes estimativas depende de pontos com respeito aos riscos de perdas econômicas e de vida ou inconveniência em áreas afetadas por inundações. Possivelmente, para se ter certeza da freqüência de eventos raros é melhor utilizar mais de uma das distribuições teóricas de probabilidade, produzindo um fator de maior segurança.

O resultado da curva de freqüência de enchentes mostra o intervalo de tempo médio em que uma enchente de dado tamanho ocorre como uma máxima anual. Para uma enchente com intervalo de recorrência de 10 anos tem-se, por exemplo, a possibilidade de ocorrência de uma vez a cada 10 anos e 10% de probabilidade de recorrer em qualquer ano.

As permanências de fluxo foram calculadas utilizando valores médios diários de certo intervalo de tempo, que constituem uma série de dados que pode ser organizada de acordo com uma distribuição de freqüência. Definem-se os intervalos de classe em função da ordem de grandeza dos fluxos, sem levar em conta a cronologia de ocorrência, e registra-se o número de dados para cada intervalo. Acumulando-se as freqüências das sucessivas classes e computando-as em um gráfico, obtém-se a curva de permanência. O resultado do número de dados existentes em cada intervalo de classe, é multiplicado por 100 e dividido pelo número de dias equivalentes aos anos da série registrada. Cada valor obtido indica a porcentagem de tempo em que dado fluxo permaneceu ao ano.

Utilizada para conhecer a porcentagem de dias em um ano que determinados valores de fluxo ocorrem, é determinada como uma curva acumulativa de freqüência dos fluxos que indica a porcentagem de tempo que um determinado valor de vazão foi igualado ou excedido durante o período observado. Para facilitar a utilização dos dados, o somatório das freqüências é geralmente expressado em termos de porcentagem de tempo, em vez de em número de dias.

4. Identificação de Períodos e Variabilidade dos Fluxos

Muitos dos problemas relacionados com o manejo dos rios estão ligados com mudanças no uso da terra e uso dos recursos hídricos, incrementados com o crescente desenvolvimento e expansão industrial, os quais têm alterado o padrão de escoamento, a qualidade de água dos rios e a carga de sedimentos liberada para os canais (Petts e Calow, 1996).

O regime hidrológico de um sistema fluvial possui condições altamente flutuantes que produzem pulsos de frequência e magnitude variadas. Estes pulsos se constituem de períodos de inundação e seca que acarretam grandes alterações na estrutura e funcionamento das comunidades aquáticas (Tundisi, et.al. 2002).

Para o Alto rio Paraná, Rocha et.al. (1998), Rocha (2002) e Souza-Filho et al., (2004) avaliaram dados de vazão máxima, mínima e média pertencentes à estação hidrológica de Guairá-PR, de 1920 a 2000, observando que o período de 1921-1971 é considerado como representativo do regime natural do rio Paraná e o período de 1972 a 2000 como período de regime alterado; este último período foi subdividido em três períodos mais: 1972 a 1981, 1982 a 1998 e 1999 a 2001, que caracterizam respectivamente, um período transicional, um período regulado pelo efeito cascata dos reservatórios a montante da bacia e o último representa um período regulado pelo barramento da usina hidroelétrica de Porto Primavera.

A partir disso, Rocha et.al.(2001) e Souza-Filho et. al.(2004) concluíram que na estação Guaíra ocorreu uma elevação dos valores de descargas mínimas e médias anuais a partir da década de 70, enquanto, na estação Porto São José os resultados mostraram que ocorreram importantes modificações do regime hidrológico período pós-barramento (1982-2000), especificamente quando se comparam os baixos fluxos, que apresentaram elevação na magnitude, acompanhada de diminuição na frequência.

Além disto, foi identificado que no período pós-barramento, as vazões diárias foram alteradas entre o período de manhã e tarde, com oscilações de 10 cm a 30 cm, sendo alcançado um repiquete de 112 cm em 12 horas. Este padrão de variações é devido a demanda de energia durante a noite (Souza filho et al, 2004).

Como mencionado anteriormente, foram analisados aqui os dados referentes às estações de Porto São José, Porto Caiuá e Guaíra, com série histórica correspondente aos anos de 1976 a 2006, 1990 a 2006 e 1972 a 2006, respectivamente. A análise sobre estas três estações fornece um entendimento mais completo sobre o comportamento fluvial do Alto Paraná.

A subdivisão em períodos, tem em consideração a divisão elaborada por Rocha (2002), e corresponde ao seguinte: 1972 a 1981, quando se intensificam alterações no sistema; 1982 a out/1998 caracterizando o período antes do funcionamento total da represa Porto Primavera e Nov/1998 a 2006 representa pós-início do funcionamento da

represa, essa última fase é mostrada com mais detalhamento a influência da UHE Porto Primavera sobre o comportamento hidrológico dessa zona, visto que, quando Rocha (2002) analisou esse período, não possuía uma série de dados hidrológicos mais completa, pelo curto tempo de operação da represa.

Foram elaborados hidrogramas para as distintas estações do alto rio Paraná e correspondentes séries históricas consideradas. A partir das figuras 2, 3 e 4 se pode visualizar as diferenças na morfologia dos fluviogramas para os 3 períodos considerados.

Também, pode-se evidenciar que para a estação hidrológica de Porto São José, o ano de maior enchente foi o de 1983, apresentando 33.698 m³/s de descarga e cota correspondente de 8,74m, seguido pelo ano de 1977 com cota fluviométrica de 7,63m. Enquanto, para a estação de Porto Caiuá os anos mais significativos foram 1990 e 1997 com vazão equivalente a 29.176m³/s e 27.096m³/s, representando nível fluviométrico de 6,76m e 6,29m, respectivamente. Já para a estação fluviométrica de Guaira a maior vazão alcançada foi no ano de 1983, com descarga fluviométrica correspondente a 39.790 m³/s, seguido pelo ano de 1990, com descarga 32.047 m³/s, equivalente as cotas de 4,65m e 4,56m respectivamente.

Nas figuras 2, 3 e 4, se pode ver que os fluviogramas das diferentes estações possuem comportamentos similares, sendo bem delimitado o período de cheias e vazantes que se estendem de dezembro a março e de abril a novembro, respectivamente.

Observa-se que no primeiro período que se inicia em 1972 e finaliza no ano 1981, os fluviogramas mostram um comportamento bastante regular, destacando-se o fluviograma de Guaira, estação que possui o maior registro histórico, onde se observa que a partir da década de 70 o comportamento começa a se fazer mais irregular, seguramente pelos impactos que começam na bacia, com a construção de barragens.

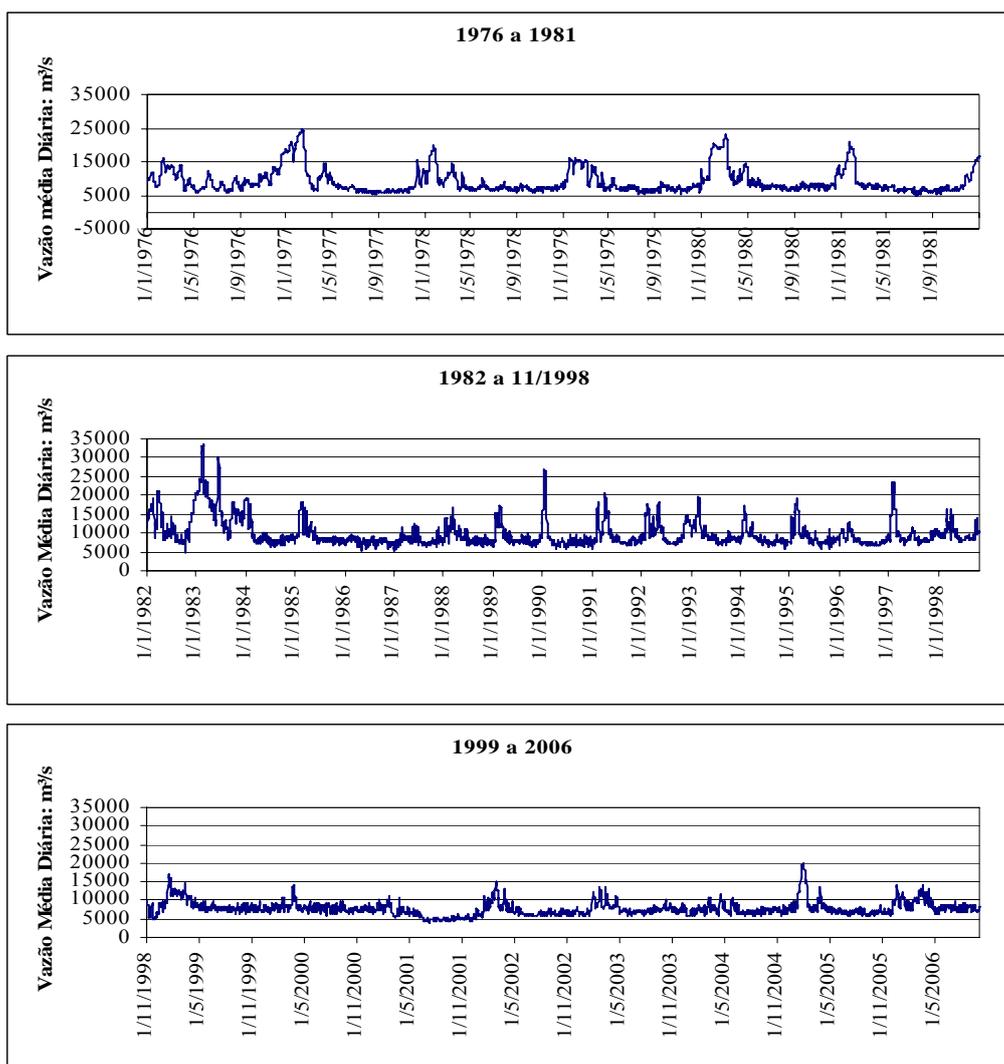


Figura 2: Hidrograma de vazões diárias para a estação de Porto São José, alto rio Paraná, de acordo com a subdivisão em períodos.

No primeiro período, e em todas as estações consideradas do Alto Paraná, quando se analisa o pico de descarga com sua curva de subida e descida desde seu início até o final, graficamente, a base do pico se apresenta larga, estendendo-se por alguns meses. Também, há a presença de picos secundários com certa duração, o que ajuda a gerar picos de cheias mais amplos graficamente.

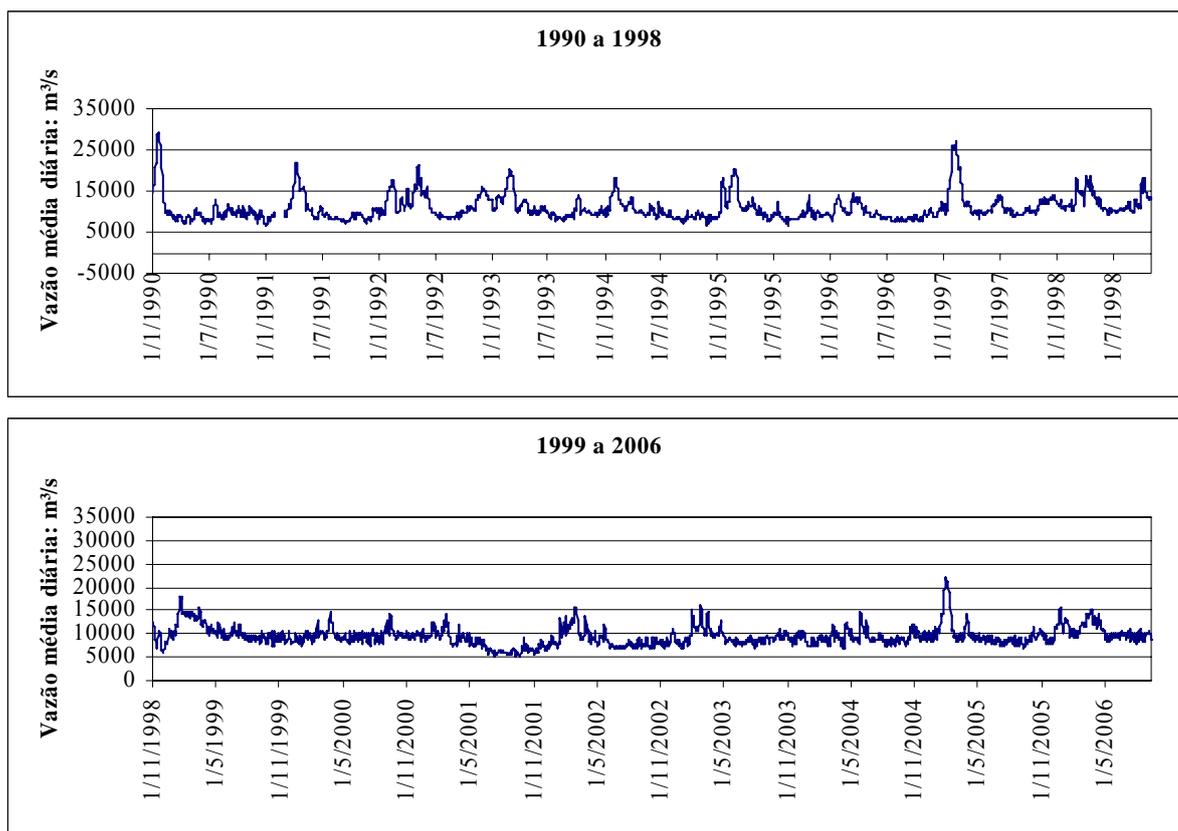


Figura 3: Hidrograma de vazão diária para a estação hidrológica de Porto Caiuá, Alto rio Paraná, de acordo com a subdivisão em períodos.

O Segundo período indica que, embora as cheias se mantenham altas, atingindo valores bastante similares ao período anterior, a distribuição dos fluxos ao longo do ano já sofre variações, demonstrado, graficamente, pela existência de picos de cheias na forma de curvas mais estreitas e pontiagudas, com uma base fina, que tem sido afetado o tempo de duração do ciclo, com respeito ao período anterior (Figura 2, 3 e 4).

Embora, seja importante analisar os hidrogramas, ao se comparar os valores médios, referente ao segundo período considerado, tais como: Vazão média, vazão média máxima e vazão média mínima em Porto São José, isto não é detectável, ao contrário, se nota um ligeiro aumento da vazão média anual, produzida na realidade por um pequeno incremento das vazões mínimas e diminuição das vazões máximas (Tabela 1).

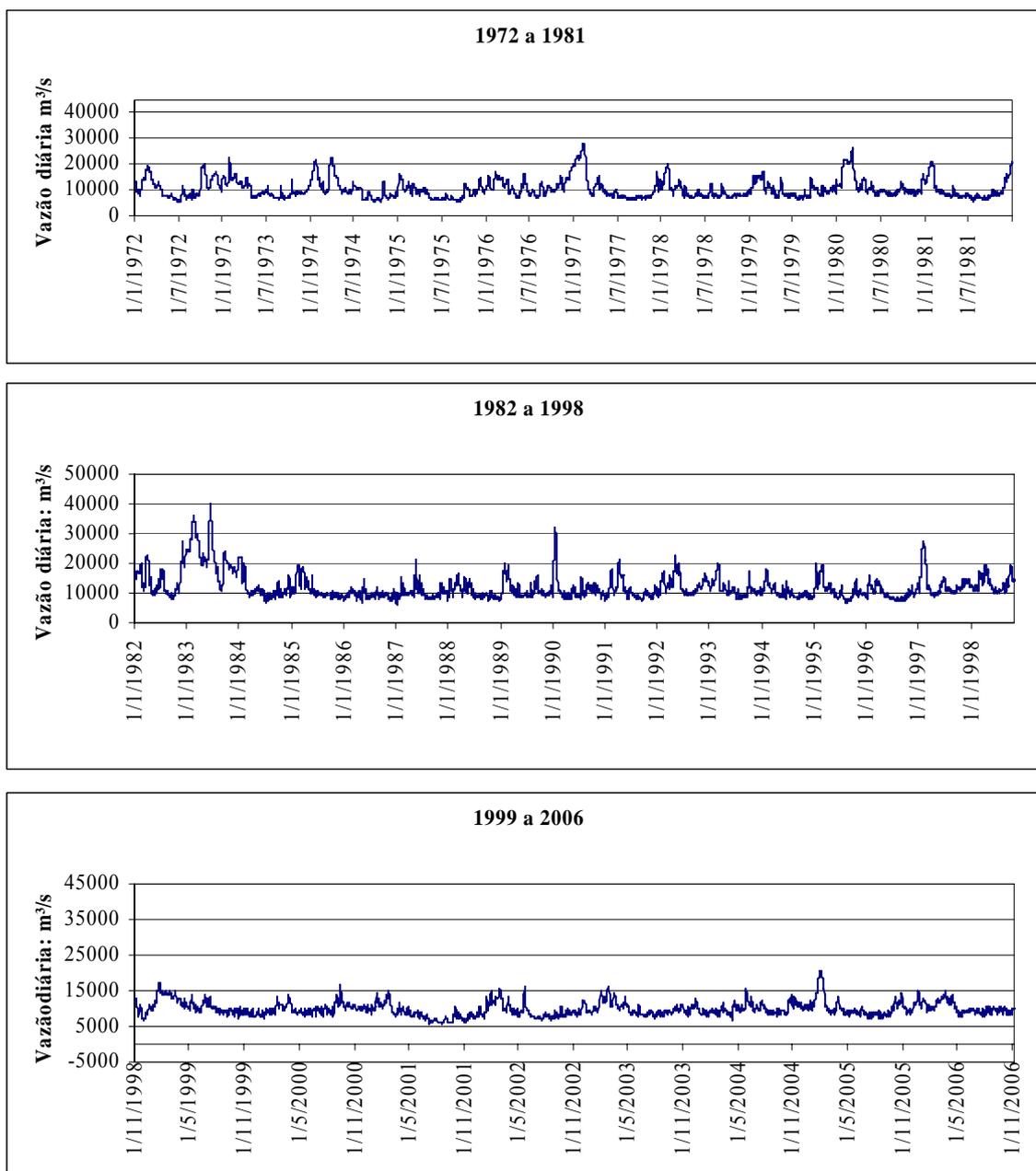


Figura 4: Hidrograma de vazões diárias para a estação hidrológica de Guaira, Alto rio Paraná, de acordo com a subdivisão em períodos.

Ainda considerando o segundo período, no caso de Guaira os dados podem estar ligeiramente distorcidos, devido ao efeito de remanso, provavelmente produzido pela represa de Itaipu. Nesta estação se nota um incremento da vazão média anual e um ligeiro aumento das vazões mínimas, enquanto que, as vazões máximas se mantêm conservativas (Tabela 1).

	Porto São José			Porto Caiuá			Guaira		
	Qm	Qm _{max}	Qm _{min}	Qm	Qm _{max}	Qm _{min}	Qm	Qm _{max}	Qm _{min}
1972 a 1981	9.144	20.522	5.623	-	-	-	10.438	21.405	6.238
1982 a 1998	9.772	18.414	5.997	10.826	21.308	7.174	12.048	22.210	7.710
1999 a 2006	7.816	14.580	5.593	9.600	16.341	6.949	9.931	16.585	6.995

Tabela 1: Valores de vazões médias máximas, vazões médias mínimas e vazões médias dos períodos considerados em 3 estações hidrológicas do Alto rio Paraná.

A análise do último período, 1999 a 2006, pós-construção da barragem Porto Primavera, mostra em todas as estações consideradas um decréscimo de 11% a 20% nas vazões médias anuais, um decréscimo de 3% a 9% nas vazões médias mínimas e 20% a 25% nas vazões médias máximas (Tabela 1).

Para ilustrar o comportamento das estações, e para facilitar comparações do comportamento dos fluviogramas em cada estação e entre estações, em cada período os fluviogramas de vazões diárias foram normalizados com respeito à média do período correspondente, permitindo entender melhor a dispersão dos valores a respeito da média. Portanto, quando se analisa a série histórica o valor 1 representa a vazão média anual do período. (Figuras 5, 6 e 7).

No primeiro período, em Porto São José (Figura 5), os picos de cheias, oscilam entre 1,7 e 2,6, embora em seis anos registrados, 4 superam o valor 2, ou seja, duas vezes a média, enquanto grande parte das bases das mínimas tem valor aproximadamente de 0,70.

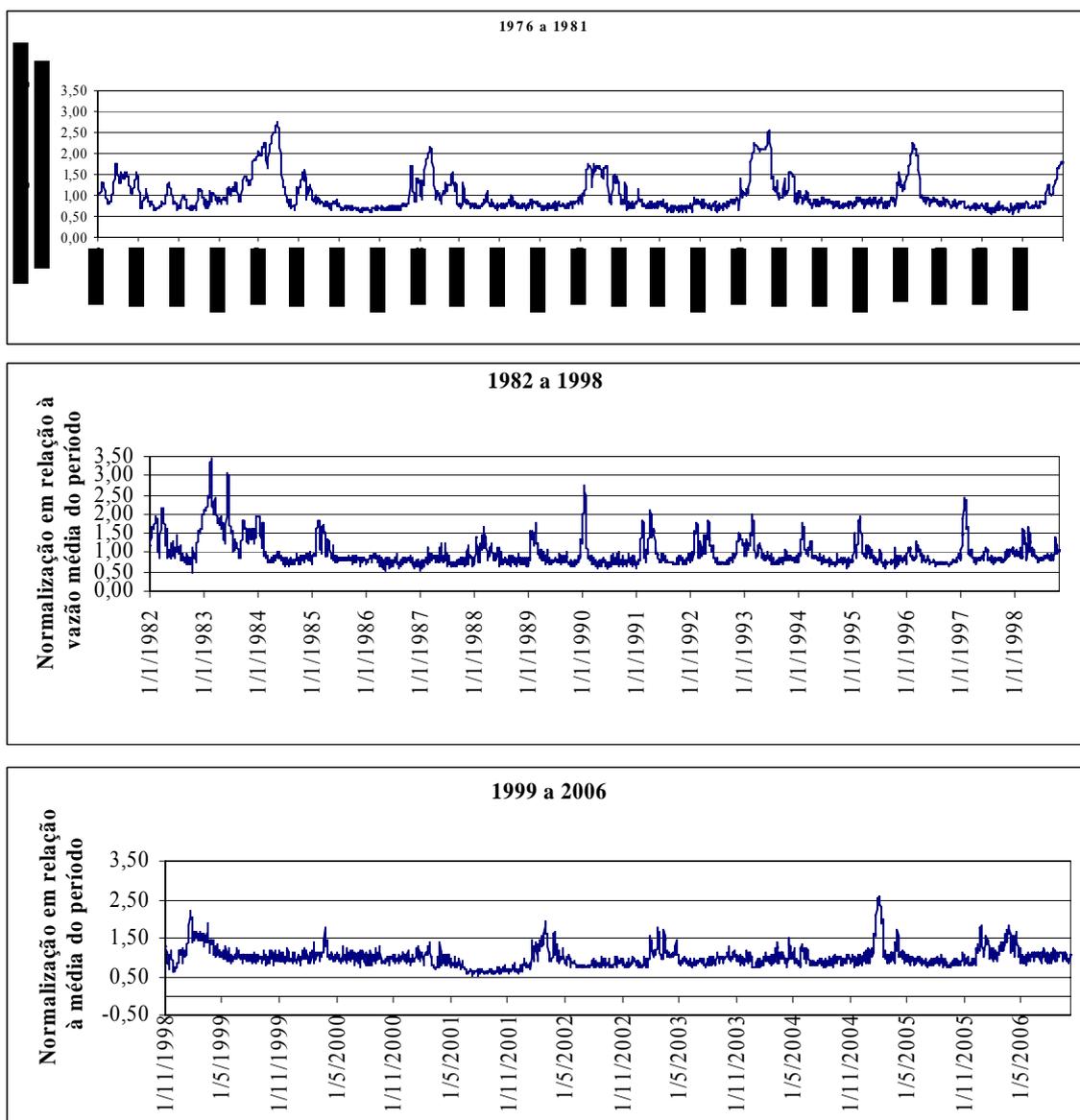


Figura 5: Hidrograma de vazões diárias normalizado em relação à vazão média do período para a estação hidrológica de Porto São José.

No segundo período, o comportamento das cheias é aproximadamente similar, com valores oscilando entre 1,5 e 2, no entanto, destacam-se valores próximos ou que superam 2,5, produzidos por fenômenos El Niño, o quais serão analisados posteriormente. O mais significativo é novamente a mudança na morfologia dos fluviogramas, como foi descrito anteriormente, nos quais, graficamente, os picos se fazem mais estreitos e pontiagudos, enquanto que as mínimas se mantêm com valores entre 0,70 e 0,80.

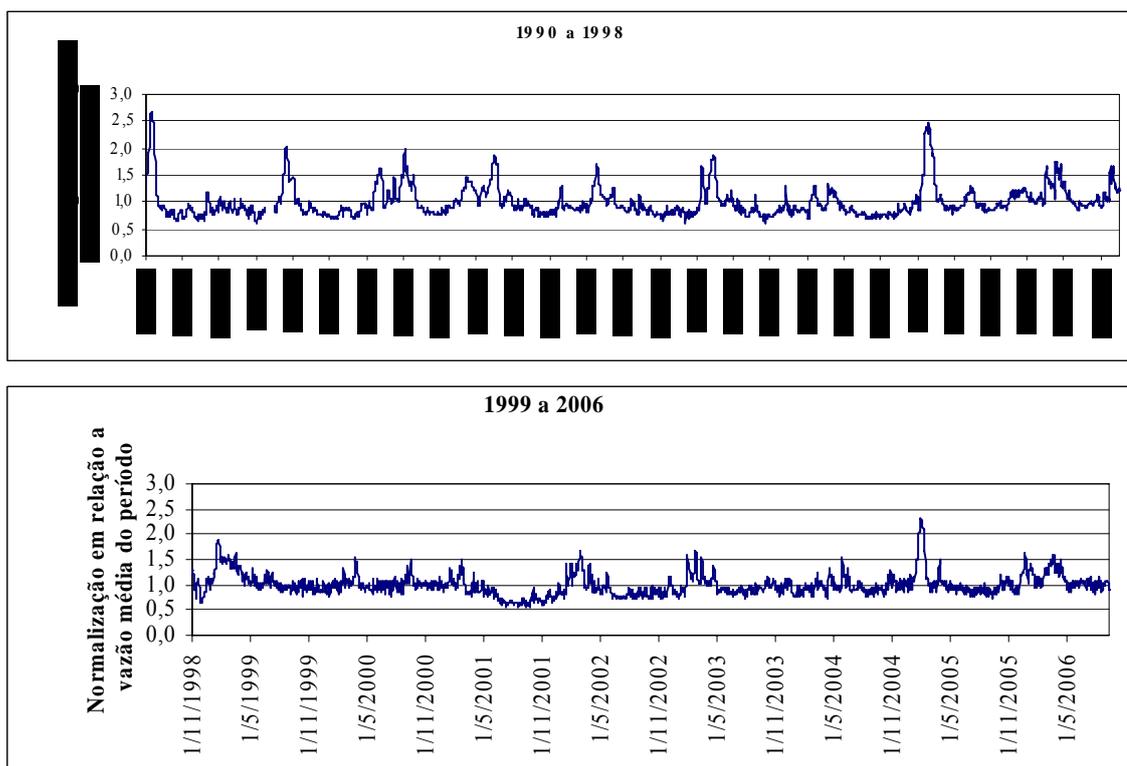


Figura 6: Hidrograma de vazões diárias normalizado em relação a vazão média do período para a estação hidrológica de Porto Caiuá.

No último período se observa em termos gerais, o decréscimo dos picos de cheias, os quais só atingem valores inferiores a 2, com exceção do El Niño 2005 e um pico de cheias de curta duração em janeiro de 1999. A respeito das mínimas se remarca o aumento das mesmas com valores mais próximos a 1, com exceção da grande seca de 2001, quando se percebe a utilização que teve que ser feita da água da bacia, e esses valores aparentemente só começam a recuperar uma distribuição mais similar ao período 1998 a 2001, recentemente.

A nível comparativo pode-se dizer que os fluviogramas normalizados permitem ver que tanto em Porto São José como Porto Caiuá e Guaira possuem comportamentos hidrológicos quase idênticos. A correlação do comportamento similar entre Porto São José e Guaira ja tinha sido detectada por Rocha et al, (2002) e Souza filho et al, (2004).

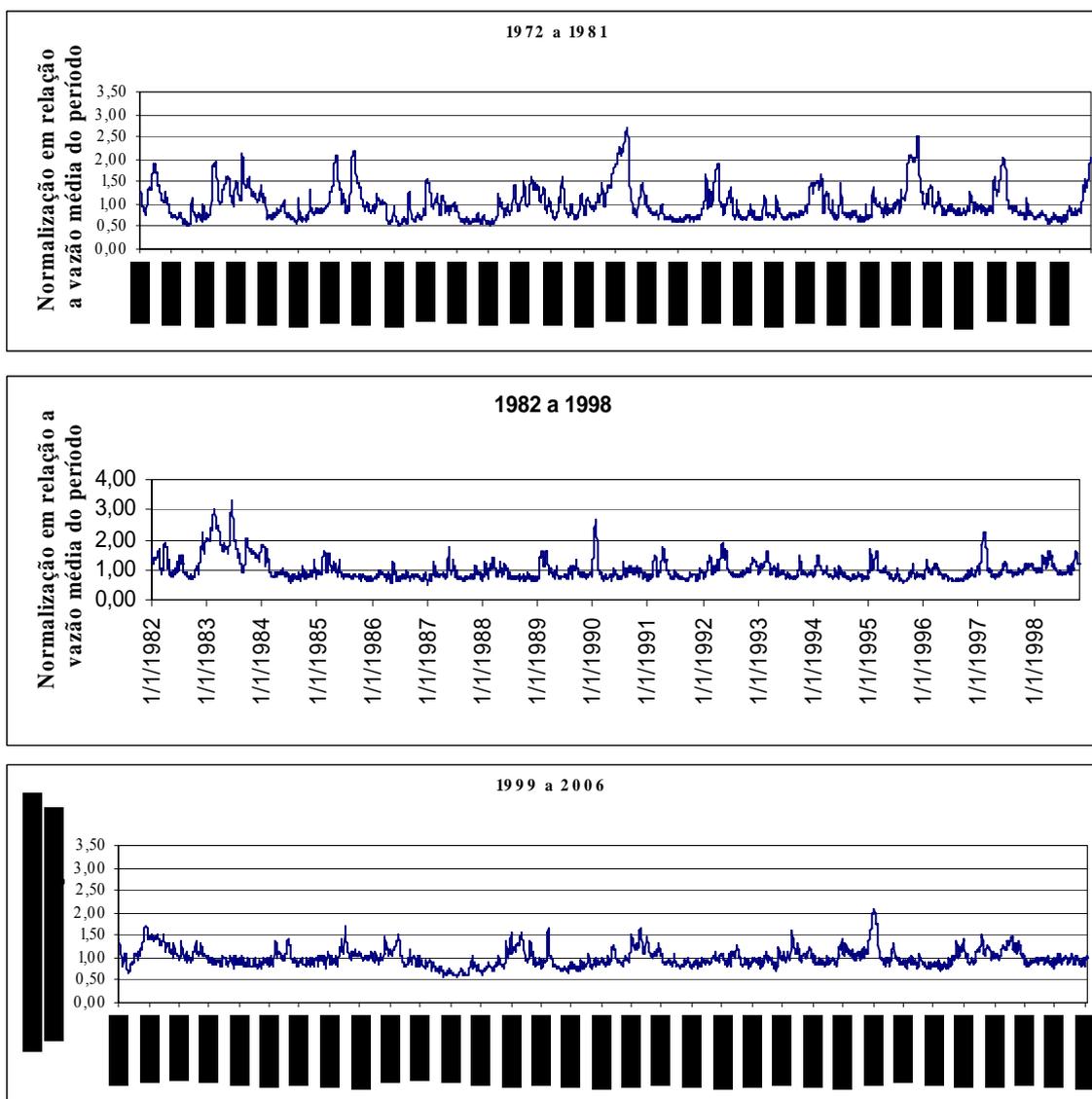


Figura 7: Hidrograma de vazões diárias normalizado em relação à vazão média do período para a estação hidrológica de Guaira.

5. Distribuição Temporal da Descarga e Freqüência de Fluxos

Embora, exista um avançado conhecimento das características hidrológicas do Alto rio Paraná, as aplicação de diferentes metodologias permite obter novos resultados e interpretações complementares.

Rocha (2002) analisou a distribuição dos fluxos em três categorias, baseado na estação fluviométrica Porto São José, assumindo que existem 4 classes de níveis de água de grande importância para o processo de inundação na planície fluvial do rio Paraná:

Fluxos menores que 350 cm: nível da água pode baixar além do fundo da maioria dos corpos aquáticos temporários no interior das ilhas e planície fluvial.

Fluxos maiores que 350 cm (9.500 m³/s): A partir deste nível de água, há manutenção dos corpos aquáticos da zona de inundação do Alto Paraná e se iniciam trocas de fluxos nos ambientes conectados.

Fluxos maiores que 460 cm (12.400 m³/s): Nível de água com influência sobre os ambientes associados às barras atuais e canais secundários. Lagoas abertas podem ser, nesse estágio, canais secundários.

Fluxos maiores que 600 cm (17.500 m³/s): A partir desse nível de água começa o encharcamento/alagamento da planície, com algumas entradas por diques rompidos, sem ocorrer fluxos no interior da planície de inundação.

Fluxos maiores que 700 cm (21.000 m³/s): Nível de água a partir do qual se caracteriza nível de margens plenas naturais, onde a água atinge o topo dos diques marginais relictos na calha do rio Paraná e as partes altas da planície fluvial. A partir dessa cota há transbordamento generalizado para a planície de inundação.

Também, com a intenção de aportar informações neste tipo de abordagem sobre distribuição temporal, Meurer (2003) analisou o regime hidrológico do Alto rio Paraná com ênfase nas cheias, na região de Porto Rico, caracterizando a frequência de fluxos. No entanto, utilizou metodologia proposta por Lambert (1990) e Lambert et.al. (1998), mais comumente utilizada em análises de picos múltiplos, não levando em consideração, metodologias mais tradicionais para análise do regime de cheias, como proposto, por exemplo, por Dunne e Leopold (1998) e Leopold (1994), acarretando em erros conceituais que afetam os resultados.

Fernandez e Souza Filho (1995) e Rocha (2002), definiram o limite de transbordamento sobre os diques marginais com nível fluviométrico superior a 400 cm na estação hidrológica de Ivinhema, no rio Ivinhema, e cota de transbordamento entre 600 cm e 700 cm, para a estação Porto São José, no rio Paraná. Meurer (2003) definiu que os fluxos relacionados a essas cotas, no rio Ivinhema, possuem frequência de 6,4 anos, podendo ocorrer 6 vezes ao ano, e, segundo as figuras e os conceitos apresentados pelo autor, a cota limite de transbordamento para estação de Porto São José, no rio Paraná, poderia ocorrer 1,9 vezes ao ano. No entanto, no rio Paraná em Porto São José, a cota de 700 cm só foi alcançada 7 vezes em um intervalo de 30 anos de dados hidrológicos.

O citado artigo apresenta erros sobre os conceitos de frequência e permanência de fluxos do canal, pois se analisou uma população estatística que não é real, utilizando

todos os dados hidrológicos das séries históricas acima de determinada cota fluviométrica, que equivaleria ao nível teórico de margens plenas nas estações hidrológicas consideradas. Desta forma, a distribuição de fluxos no ano fica anômala, já que, somente se toma alguns fluxos acima de uma cota determinada, mas produz uma falsa normalização dos dados para todo o ano o que gera resultados sem validade estatística.

Mais recentemente, Corradini (2006) realizou um relevamento detalhado topográfico/geomorfológico e dos seus estratos vegetacionais na região de estudo e aplicou a função Fitras do software Pulso idealizado por Neiff (1990, 1999). O citado autor concluiu que as cotas fundamentais de conexão do sistema rio/planície acontecem nos valores 200, 320 e 590cm. Embora, o estudo de Corradini (2006) significa um avanço no entendimento da interrelação geomorfologia-hidrologia-biótopos na planície aluvial do Alto Paraná, foram detectados problemas no tratamento da informação hidrológica, o qual será discutido oportunamente mais adiante.

5.1. Frequência de fluxos

Enchentes são geralmente consideradas eventos controlados climaticamente, mas, além do fator climático, a morfometria da bacia, geologia e relevo, e, no caso de grandes rios aluviais, a existência de uma bem desenvolvida planície aluvial, também atua com importante papel no significado hidro-geomórfico.

A ocorrência de enchentes é estudada como um problema de probabilidade, e o conhecimento da probabilidade de enchentes ocorrerem é necessário em uma variedade de motivos que vão desde razões de engenharia, ecológicas ou razões econômicas. Existem diversos procedimentos para o estudo de probabilidades de enchentes e dada a significância geomórfica desses eventos os estudos de probabilidade de ocorrência tem se transformado em importantes ferramentas para a geomorfologia fluvial (Leopold et al., 1995).

A probabilidade de enchentes de certa magnitude ocorrerem, ou seja, a frequência média de ocorrência é a base para muitos planejamentos que tratam sobre sistemas fluviais. A frequência de um determinado fluxo ocorrer é expressa através de uma curva de frequência que indica a relação de magnitude de vazão e sua frequência de ocorrência.

O rio Paraná tem sido submetido a um forte controle antrópico pela construção de reservatórios. As três estações hidrológicas estudadas foram analisadas em distintos períodos, pois ao se considerar a totalidade da série histórica se produz achatamentos e distorções nos cálculos, pela inclusão de todos os dados na mesma população estatística (períodos pré e pós-barragens). Portanto, é analisada em continuação, a recorrência de fluxos em função dos três períodos identificados (Figuras 8, 9 e 10).

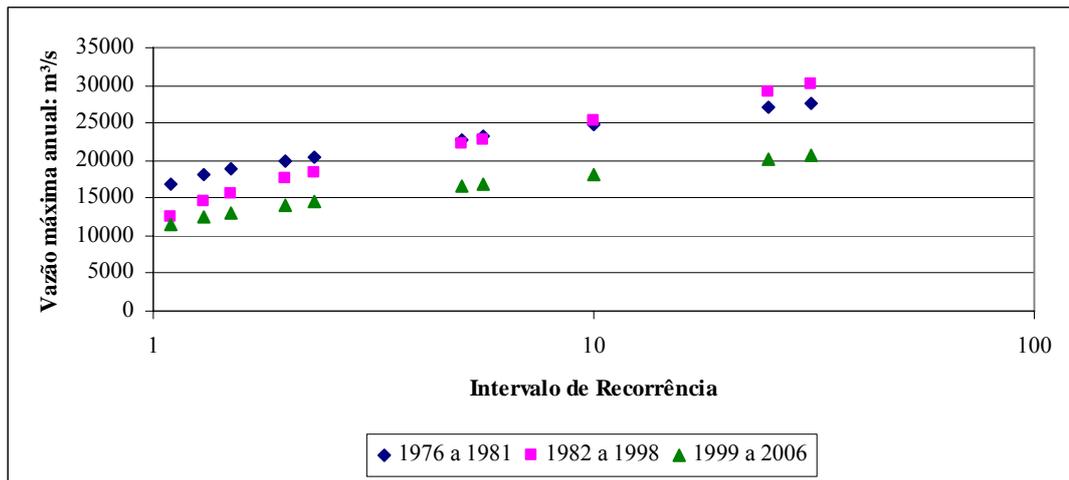


Figura 8: Intervalo de Recorrência para a estação hidrológica de Porto São José, diferenciação de distintos períodos. Utilizando a distribuição de Gumbel.

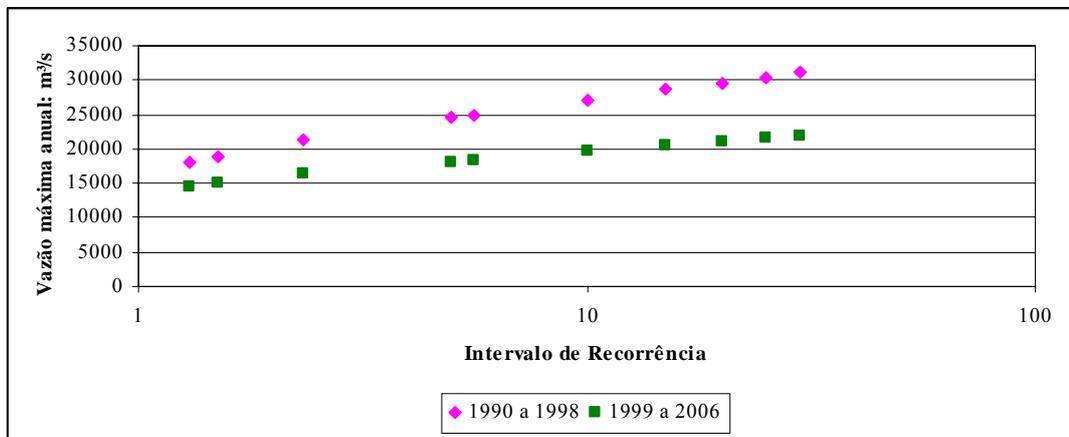


Figura 9: Intervalo de Recorrência para a estação hidrológica de Porto Caiuá, com diferenciação de distintos períodos. Utilizando a distribuição de Gumbel.

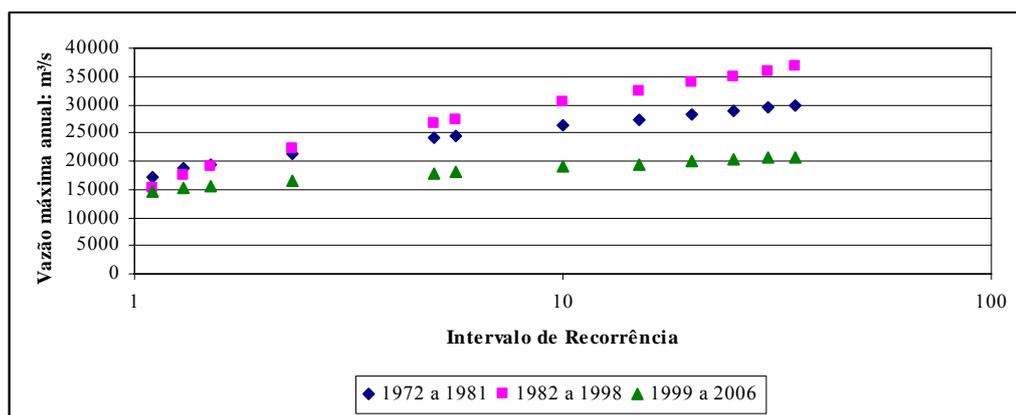


Figura 10: Intervalo de Recorrência para a estação hidrológica de Guaíra, com diferenciação de distintos períodos. Utilizando a distribuição de Gumbel.

Na análise dessa distribuição pode-se observar que algumas similaridades acontecem entre as estações, mas também, nota-se algumas diferenças menores no comportamento do sistema, e distorções nas recorrências produzidas pelas diferenças temporais entre as séries históricas.

Em Porto São José, como já fora notado por Rocha et al. (2001), Fernandez e Souza-Filho (1995), a recorrência de margens plenas teórica (1,5 anos) não poderia ser aplicada, porque teria uma cota de 530 cm, sendo que eles sugerem uma cota de 700 cm para nível de transbordamento. A enchente média anual teórica (2,33 anos) indica uma cota de 616 cm, enquanto, que o valor de margens plenas real do sistema teria uma recorrência de 5 anos, valor bastante aproximado ao obtido por Souza-Filho et al. (2004) Fernandez e Souza Filho (1995) que sugeriram uma recorrência de 5,6 anos. Porém, Corradini (2006) sugeriu um valor de cota de 590 cm, para atingir o nível de transbordamento total da planície, o que para totalidade da série histórica estudada dá um valor de recorrência de 1.9 anos.

Souza filho et al, (2004) sugerem como valor de “bankfull” em Porto São José $12.300\text{m}^3/\text{s}$, valor este que concorda com a vazão que cobre as barras fluviais ativas, com recorrência para toda a série histórica de 1,09.

De acordo com a curva de frequência elaborada para o rio Paraná na estação Porto São José, a recorrência de determinados fluxos de enchentes, como por exemplo, vazões com valores de $12.400\text{m}^3/\text{s}$, $17.500\text{ m}^3/\text{s}$ e $21.000\text{ m}^3/\text{s}$ equivalentes às cotas fluviométricas 460 cm, 600 cm e 700 cm, respectivamente, bastante citadas pela importância geomorfológica/ecológica para essa zona, possuem recorrências diferenciadas quando se comparam os distintos períodos.

Um exemplo é o fluxo que equivaleria à média das máximas enchentes da série histórica considerada, com recorrência de 2.33 anos. No primeiro período, esse fluxo possui um valor de 20.780 m³/s, no segundo período um valor aproximado de 18.500 m³/s, enquanto no terceiro período decresce para aproximadamente 15.000 m³/s, enfatizando o processo de diminuição dos fluxos extremos nesse setor do rio (Tabela 2).

Fluxos de determinadas recorrências	1º Período	2º Período	3º Período
1,05	16.263	11.449	10.919
1,5	18.831	15.648	13.126
2	19.992	17.546	14.123
2,33	20.526	18.420	14.583
5	22.847	22.216	16.578
5,6	23.165	22.735	16.851
10	24.738	25.307	18.203

Tabela 2: Recorrência de fluxos em distintos períodos para a estação Porto São José, Alto rio Paraná. Também estão indicadas, cotas fluviométricas referentes aos distintos níveis de água de considerada importância para o processo de inundação.

No caso de Porto Caiuá, os dados disponibilizados por Itaipu contemplam o período de 1990 a 2006. Desta forma, ao contrário das estações Porto São José e Guaíra, não fica incluído no registro os dados extremos gerados pela enchente de 1983. Enquanto, as outras duas estações incluem um intervalo de 4 m entre enchentes máximas e mínimas para as séries consideradas, Porto Caiuá somente se estende em uma categoria de cotas de 3 m entre enchentes máximas e mínimas registradas para o período.

5.2. Permanência Fluxos

Os mesmos problemas detectados para a interpretação das recorrências foram também identificados na análise de permanências de fluxos. Até agora, contava-se somente com o estudo de Rocha (2002) que utilizou uma análise de permanência de fluxos em Guaíra, analisando a partir das categorias: Vazante (< 9.597 m³/s), Descarga Média (9.597 – 17.292 m³/s), Margens Plenas (17.292 – 22.875 m³/s) e Máximo Perímetro Úmido (>22,875 m³/s).

No entanto, como foi mencionado acima, devido à regulação do rio por represas, resulta mais realista analisar também, as permanências por períodos e não como um

resultado da totalidade da série histórica, e desta forma, eliminar as distorções comentadas anteriormente.

A partir das curvas de permanências, se detecta que, a duração de determinados fluxos também foi alterada em todas as estações consideradas, em função da regulação do rio.

As curvas de permanência de fluxos têm variado nos três períodos. Entre os períodos 1976-1981 e 1982-1998 as mudanças são mais sutis e se produz um cruzamento das curvas, o que indica um aumento das permanências das vazões baixas e médias no segundo período com relação ao primeiro, e uma tendência do sistema a gerar gradientes de cheias mais íngremes, como já mencionado na análise de hidrogramas, ou seja, cheias de menor duração.

As maiores mudanças no regime aconteceram depois da construção da represa de Porto Primavera (1999-2006) onde se produz uma marcada permanência de vazões baixas/médias e a geração de picos de curta duração, mas também, de menor intensidade já que nunca foram registradas vazões de certa magnitude, como para poder inundar a totalidade da planície aluvial (Figura 11).

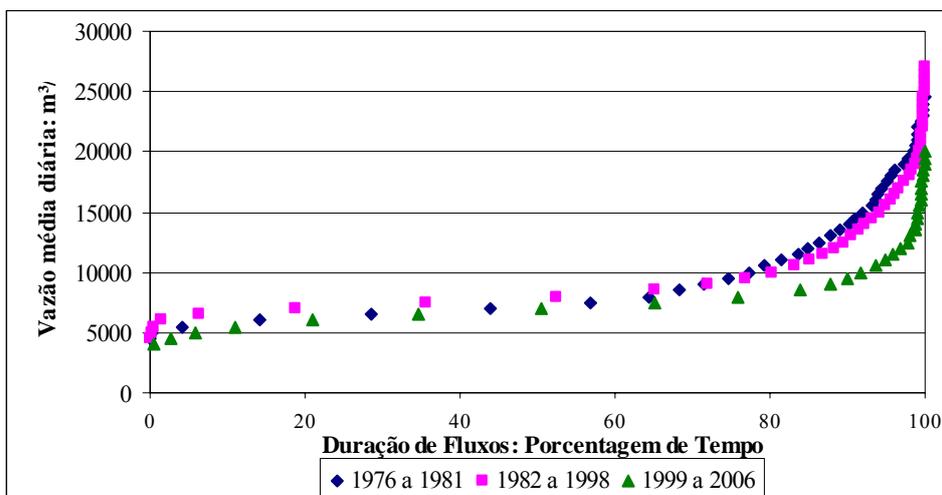


Figura 11: Curva de porcentagem de duração de fluxos para a estação hidrológica de Porto São José, em períodos distintos. O ano de 1983 não foi considerado.

5.3. Influência do Fenômeno El Niño na Magnitude das Cheias e Permanência dos Fluxos

El Niño está relacionado à evolução das temperaturas do Oceano Pacífico, quando elas são anormalmente maiores do que as comumente observadas. Consiste em uma diferença de pressão leste-oeste (no oceano Pacífico) que afeta diretamente as

regiões de clima tropical do mundo. Denomina-se fenômeno ENSO (ou ENOS), e podem durar de vários meses a mais de um ano (Giacosa, et.al. 2000). Um terço das maiores vazões registradas no médio rio Paraná, em Corrientes (Argentina) ocorreram durante eventos El Niño. As maiores anomalias aconteceram na primavera do ano do evento e no seguinte outono acompanhando o sinal de precipitação do El Niño na parte subtropical leste de Sul America (Camillioni e Barros, 2003).

É evidente a influência desse fenômeno no alto rio Paraná, visto que vários dos anos de maiores enchentes são consideravelmente relacionáveis aos anos de El Niño (Tabela 3).

El Niño	Magnitudes dos máximos fluxos anuais		
	P.S.José (1976-2006)	P.Caiuá (1990-2006)	Guairá (1972-2006)
1972-1973	-	-	17
1976-1977	2	-	3
1982-1983	1	-	1
1991-1992	3	5	2
1997-1998	5	2	4
2005	8	3	15

Tabela 3: Anos com incidência de fortes eventos El Niño (Fonte: Giacosa, et.al. 2000) e magnitude das máximas vazões anuais registradas nos períodos estudados para cada estação.

Para o período temporal, do qual utilizamos a base de dados hidrológicos, o El Niño de maior importância na área foi o ocorrido no ano de 1983, seguido pelos anos de 1990 e 1997, ano no qual todas as estações hidrológicas da área em estudo possuem dados.

Na figura 12 são facilmente visualizadas as diferenças no regime de descargas de um ano considerado de fluxo “típico” (1994) comparado a um ano com ocorrência de El Niño (1997). Os picos de altos fluxos aumentaram em relação ao ano “típico”, até mesmo as mínimas descargas incrementaram-se, quando se relacionam dois meses iguais de diferentes anos.

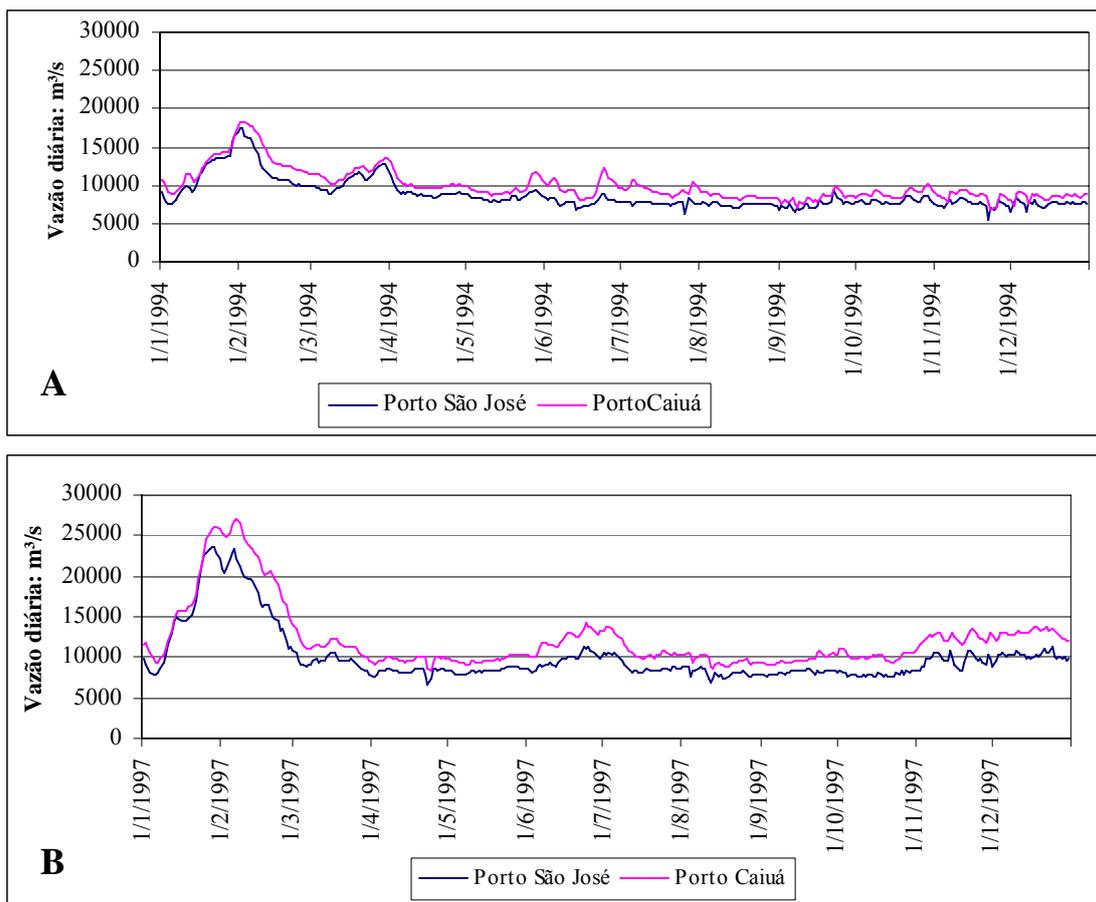


Figura 12: Hidrograma de vazões diárias para as estações de Porto São José e Porto Caiuá. A: Ano de 1994, sem influência do fenômeno El Niño. B: Ano de 1997, com influência do El Niño.

As diferenças no tempo de permanência de fluxos nesses distintos anos citados são extraordinárias. As inflexões das curvas são bem diferenciadas, principalmente quando começam os mais altos fluxos de descarga (Figura 13).

A figura 13A mostra que em anos sem influência de El Niño, como o de 1994, que valores iguais ou maiores que a vazão média anual em Porto São José ($9.185 \text{ m}^3/\text{s}$) tiveram uma duração de 11% enquanto, que durante El Niño (Figura 13B) a duração chegou a 39%. A respeito das vazões acima do valor de margens plenas (na realidade “bar full” com valor de $12.300 \text{ m}^3/\text{s}$), a permanência foi de 7% em 1994, e 14 % do tempo durante o El Niño de 1997.

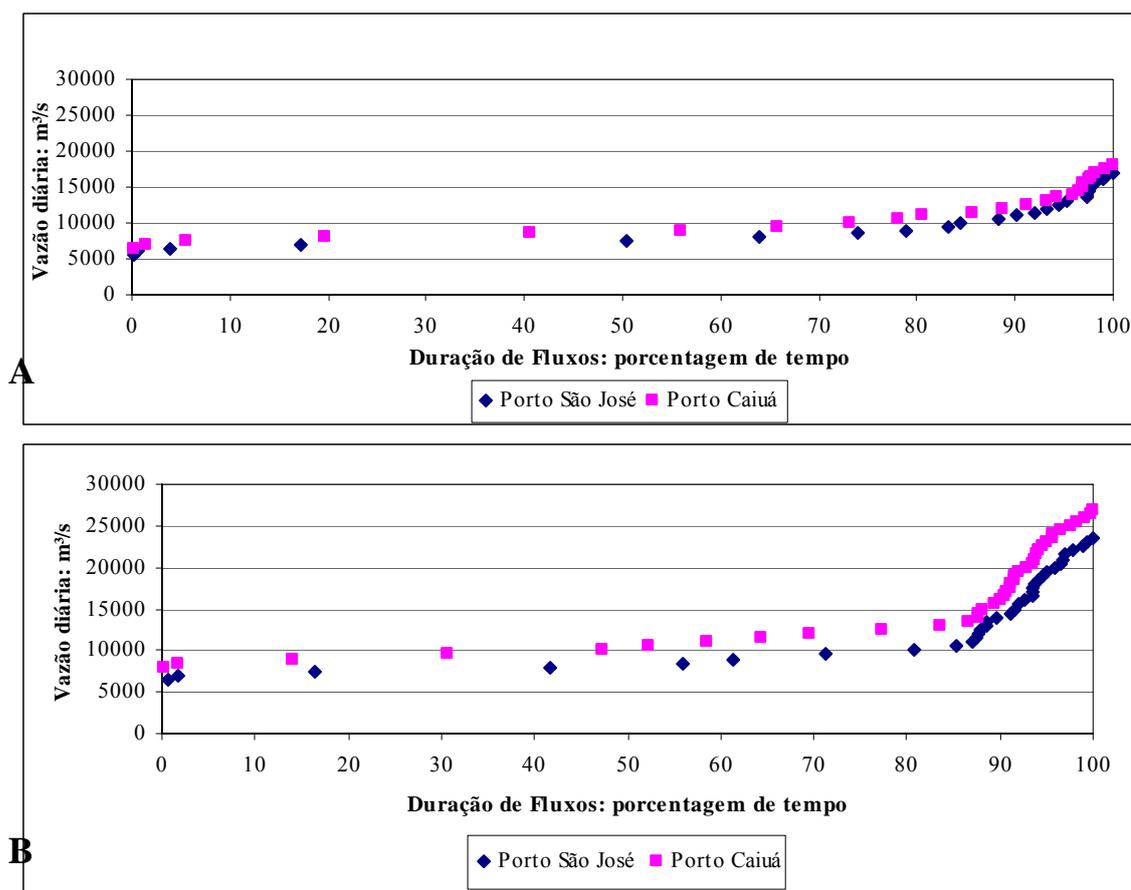


Figura 13: Curva de duração de vazões diárias para as estações de Porto São José e Porto Caiuá. A: Ano de 1994, sem influência do fenômeno El Niño. B: Ano de 1997, com influência do El Niño.

6. Hidro-geomorfologia e sua relação com a manutenção ecológica da planície de inundação

Ecologia e Hidrologia são ciências com conceitos bastante similares: Ecologia é o estudo de interrelações entre organismos e seus ambientes, enquanto, hidrologia é o estudo das interrelações e interações entre a água e seus ambientes no ciclo hidrológico, constituindo-se, respectivamente, como uma ciência mais experimental e descritiva e a outra mais preditiva e analítica (Gordon, et.al. 2005), que complementam-se no conhecimento sobre fluxos nos canais fluviais. No entanto, falta um esforço adicional para realizar estudos mais integrados que tenha em consideração outra disciplina fundamental na interpretação das interações físico-bióticas: a Geomorfologia fluvial.

A heterogeneidade espaço-temporal faz com que os ecossistemas presentes na planície de inundação transformem-se em ambientes de grande riqueza de espécies. A dinâmica fluvial gerada pela inundação exerce importância fundamental na manutenção

da diversidade de tipos de habitats lânticos, lóticos e semi-aquáticos, cada qual representado por uma diversidade de estágios sucessionais (Ward e Stanford, 1995). Heterogeneidade espaço-temporal que sustenta os ecossistemas, significa desde a ótica da geociências, unidades geomorfologicamente diferenciadas formadas por distintos processos fluviais numa escala temporal que, no caso das planícies de inundação, em termos gerais, se restringem ao Holoceno ou como máximo a unidades geradas durante o Pleistoceno tardío.

Dentro do marco conceitual da geomorfologia fluvial, as variáveis de transformação são elementos chaves da dinâmica morfogenética de uma unidade ativa (Iriundo 1986, Latrubesse e Morato, 2006). A distribuição de fluxos no tempo e a identificação dos fluxos significativos na esculturação do canal e no transporte de sedimentos são componentes básicos de análise na Geomorfologia fluvial. Desde a ótica da Ecologia de ambientes fluviais, os pulsos de cheias também tem sido considerados um elemento fundamental, em particular com a teoria do *flood pulse* de Junk, et.al. (1989).

Pulsos de cheias em teoria formam um “moving litoral” que afeta a planície de inundação, favorecendo a conectividade e incrementando a produtividade (Junk et.al. 1989, Junk e Wanssen, 2006) e podem homogeneizar os ambientes e conectá-los (Thomaz et al. 1997). Os extremos mínimos, por outro lado, apresentam pouca atividade em relação a geomorfologia do canal, porém pode ser fator limitante para as espécies que necessitam da manutenção de água nos ambientes lânticos do ecossistema rio-planície de inundação (Neiff, et al, 2005).

Porém, considerando que planícies aluviais são formadas por um mosaico de biótopos lânticos e lóticos, Ward e Stanford (1995) sugerem uma seqüência relativa de conectividade dos corpos de água da planície aluvial com o canal principal do rio em relação a atributos estruturais e funcionais dos corpos de água dentro da planície aluvial.

Porém, os impactos humanos têm afetado o funcionamento natural dos sistemas fluviais no mundo e as represas têm sido um dos elementos mais impactantes. Ícone de desenvolvimento até os anos 70, as barragens começaram a serem questionadas a partir dos anos 80 pelos altos impactos ambientais e sociais que ocasionam, produzindo o deslocamento anual de quatro milhões de pessoas no mundo. Sendo que, no Brasil mais de um milhão de pessoas já foram deslocadas (World Commission of Dams, 2006).

Embora desde os anos 70, na Europa já se tinha avançado na despoluição de seus sistemas fluviais e recuperação da qualidade ambiental de alguns dos seus sistemas aquáticos continentais, estudos focalizando a compreensão das variáveis ecológicas necessárias para a manutenção e restauração dos ecossistemas aquáticos tem ganhado importância a partir do fim da década de 90, em particular quando, os Estados Unidos percebem que muitos de seus sistemas fluviais e de outros países desenvolvidos tinham chegado ao seu limite para prover ecossistemas saudáveis e espécies de valor que provejam bens e serviços, e, que simples tarefas de despoluição não eram suficientes para recuperar estes ambientes e sua diversidade (Gore e Shield Jr., 1995).

O rio Paraná pode ser utilizado como um exemplo extremo na América do Sul dos efeitos de construção de represas em curto prazo, em grandes sistemas fluviais, visto que no começo dos anos 60, a área total represada da bacia do Alto Paraná foi aproximadamente 1.000km², enquanto, dados recentes sugerem que o número de represas em especial para a geração de energia, aumentou drasticamente e a área afetada chegou a 20.000 km² no ano 2000 (Agostinho et.al. 1994).

Como mencionado por Ward e Stanford (1995), com o conceito de redução dos fluxos formadores dos canais (*channel forming flows reduce*), das maiores mudanças hidrológicas induzidas pela represas que afetam a integridade ecológica se destacam: a redução de picos de cheias, a redução na frequência das cheias, e a redução dos fluxos formadores de canais. Porém, estas variáveis citadas poderiam ser analisadas de uma forma mais específica como sugerido por Poof et. al. (1997), que toma em consideração cinco variáveis: magnitude, frequência, duração, preditibilidade e taxa de mudança que leva em conta a redução dos picos de cheias, alteração na distribuição da permanência de fluxos, alteração na recorrência das cheias e alteração das vazões efetivas de um sistema, as quais não necessariamente têm que diminuir.

Durante as últimas décadas a regulação dos fluxos, devido a construção de represas tem afetado o funcionamento ecológico, hidrológico e geomorfológico das planícies fluviais (Ligon et al., 1995). Como foi analisado neste artigo, o regime hidrológico do Alto rio Paraná tem sofrido drásticas modificações, porém, ainda se faz necessário estimar com maior precisão como alterações do pulso de cheias e da conectividade entre os biótopos lênticos e lóticos têm afetado a manutenção ecológica.

Os resultados mostram fluxos que no primeiro período (a partir de 1971 a 1981) alcançavam certos valores de probabilidade de frequência, atualmente são muito menores em todos os setores que possuem as estações fluviométricas consideradas.

Fazendo-se referência, a estação Porto São José, na figura 14A vemos que em todos os anos da série histórica a cota 3,5m foi atingida. Já, com relação à cota de 4,6 m, no primeiro período sempre foi atingida, e no segundo período não foi alcançada no anos de 1986, e no terceiro período o rio não alcançou esse nível de água nos anos 2001 e 2004. A partir de 1998 até 2006 (terceiro período), somente se ultrapassa o nível de 6 metros em 2005, devido à incidência de forte El Niño, enquanto, a cota 7 metros não é atingida nenhuma vez nesse período. A figura 14B mostra as cotas propostas por Corradini (2006). Tomando a cota 600 cm como margens plenas, as unidades altas da planície têm sido alcançadas ocasionalmente, desde a construção de Porto Primavera.

A Tabela 4 mostra as relações entre os distintos períodos e suas respectivas permanências em relação aos níveis de água críticos para inundar as diferentes unidades geomorfológicas da planície aluvial.

Enquanto no primeiro período (1972 a 1981) os níveis de maiores fluxos (iguais ou maiores que a cota 600cm) permaneciam aproximadamente 5% do tempo, esse valor foi decrescendo no período seguinte a 2,63 até chegar a ser zero no período pós-barragem de Porto Primavera.

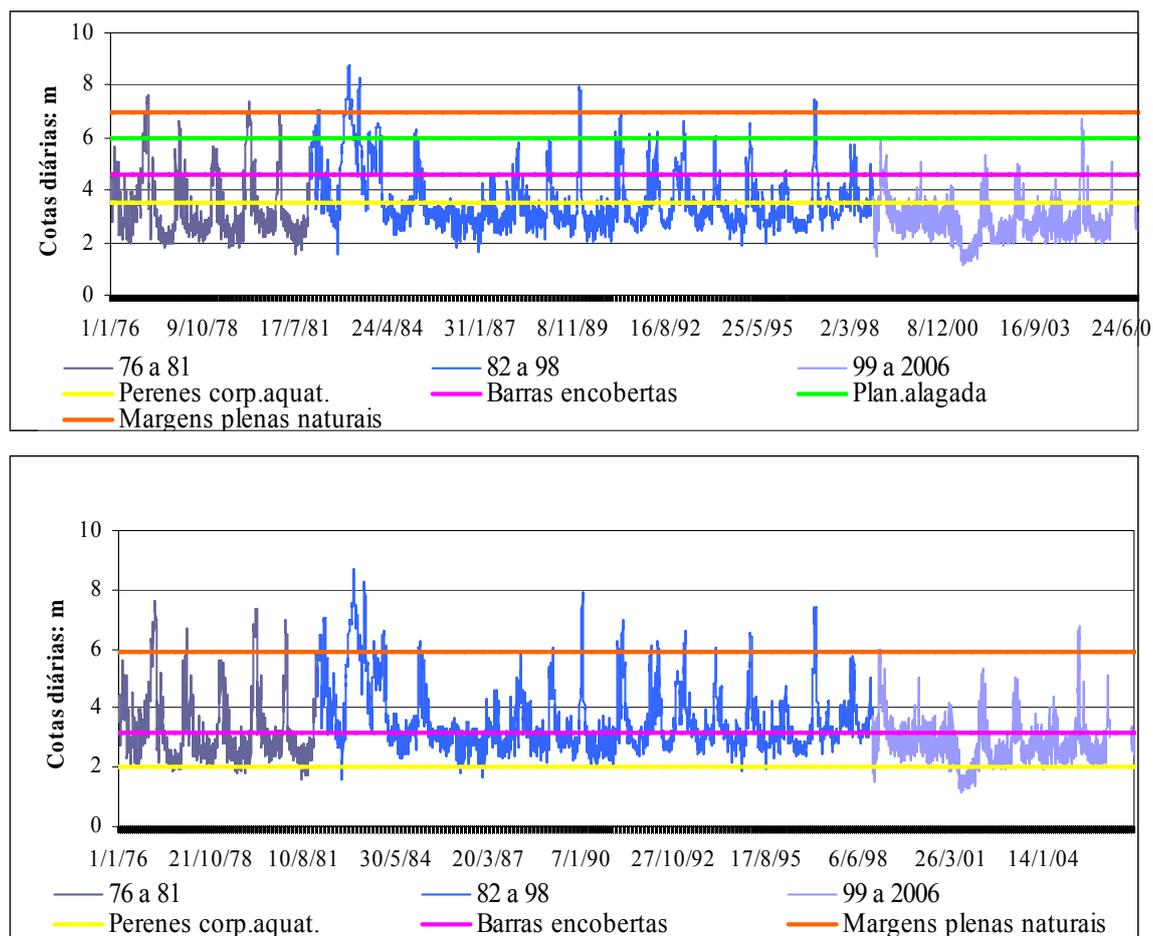


Figura 14: Cotas indicativas de importância para os ecossistemas aquáticos do alto rio Paraná. A) Proposto por Rocha (2002). B) Proposto por Corradini (2006).

Fluxos Cotas/ vazões	1º Período	2º Período	3º Período
350cm ~ 9.000m ³ /s	28,6	28	12,19
460cm ~ 12.400m ³ /s	15,15	11,66	3,06
600cm ~ 17.500m ³ /s	4,88	2,63	0,38
700cm ~ 21.000m ³ /s	1,00	0,45	-

Tabela 4: Porcentagem de permanências de cotas e fluxos iguais ou maiores que os valores indicados no canal para os valores críticos de inundação das distintas unidades geomorfológicas da planície aluvial propostas por Rocha (2002), nos distintos períodos estudados, para a estação Porto São José, Alto rio Paraná

Corradini (2006) sugere que as cotas principais ou críticas para a conexão rio-planície são 200 cm, 320 cm e 590 cm. A Tabela 5 mostra as propostas de Rocha (2002) e Corradini (2006) em relação às mudanças sofridas nos intervalos de recorrência para as cotas identificadas pelos mencionados autores.

A)

Períodos	Recorrência em anos das cotas indicativas das unidades geomorfológicas da planície de inundação			
	350 cm	460 cm	600 cm	700 cm
1 (1976 a 1981)	-	-	1,1	3,5
2 (1982 a 1998)	-	1,04	1,9	4,2
3 (1999 a 2006)	-	1,3	5,6	23

B)

Períodos	Recorrência em anos das cotas indicativas das unidades geomorfológicas da planície de inundação		
	2	320 cm	590 cm
1 (1976 a 1981)	-	-	1,1
2 (1982 a 1998)	-	-	1,8
3 (1999 a 2006)	-	-	5

Tabela 5: Períodos de recorrência para cotas chaves na inundação da planície aluvial para cada intervalo temporal. A) valores de cota propostos por Rocha (2002); B) valores de cota propostos por Corradini (2006). Os espaços em branco indicam que todo ano essa cota é alcançada.

Os dados de recorrência evidenciam o grande impacto que está sofrendo a planície aluvial do Paraná, pelas intervenções na sua bacia, e na zona de estudo pela implementação da UH Porto Primavera. Nota-se um incremento da recorrência ao longo de cada período para as cotas superiores ao valor de 460 cm proposto por Rocha (2002). As áreas mais elevadas da planície são as mais afetadas. Para a cota 600 cm a recorrência mudou de 1,1 a 5,6 anos e, de 3,5 para 23 anos na cota 700 cm (Tabela 5A).

Na proposta de Corradini (2006) as áreas impactadas pelas mudanças do intervalo de recorrência encontram-se localizadas acima da cota 590 cm, onde aumentou de 1,1 a 5 anos para eventos superiores a 600 cm. Nota-se que, embora os processos descritos pelos dois autores sejam similares (Tabela 6), os valores de cota diferem sensivelmente de uma proposta a outra, o que dificulta avaliar qual das propostas é válida e, portanto, qual é o atual cenário do rio Paraná.

Local	Nível da Água e Processos Hidrodinâmicos		
	Rocha (2002), < 350 cm Corradini (2006), <200cm	Rocha (2002), > 460 cm Corradini (2006), >320 cm	> Rocha (2002), 700 cm Corradini (2006), >590
Z. I. Paraná	Nível d'água do lençol freático pode abaixar além do fundo da maioria dos corpos aquáticos temporários no interior das ilhas e Planície Fluvial.	Influência sobre os ambientes associados às barras atuais e canais secundários. Lagoas abertas podem passar a canais secundários.	Trasbordamento para as ilhas e planície fluvial, com fluxo sobre as superfícies. Intensificação da mobilização de formas de leito e de processos erosivos nas margens.
Z. I. Baía	Influência do nível da água dos corpos aquáticos pelo lençol freático, idem a ZIP. Provável predominância de fluxo para jusante na saída. Processos locais influenciados pelas chuvas locais e pequenos Tributários.	Intensificação da influência do fluxo sobre a lagoas e elevação nos níveis de água dos corpos aquáticos e do canal. O fluxo para jusante pode restringir ao canal Curutuba.	Trasbordamento para a planície fluvial, com fluxo sobre as superfícies. Típica mistura das características físico-químicas das águas provenientes da várzea e do rio Paraná
Observações	Diminuição da permanência de fluxos maiores ou iguais a 350cm de 28,6% a 12,19% no período pós-barragem. Se utilizada a cota 200cm a unidade fica quase todo o ano inundada.	Diminuição das permanência de valores maiores ou iguais a 450cm de 15,15% no primeiro período a 3 % no período pós-barragem. Para cotas iguais ou maiores a 320 cm a permanência de fluxos é de ~30%.	Aumento do tempo de recorrência da cota 700 cm de 3,5 a 23 anos, no entanto, de 1,1 para 5 anos se considerada a cota 590 cm. Desconexão da planície no período pós-barragem acima de cota 700 cm, e mudança de permanências para a cota 600 cm de 4,88% no primeiro período a 0,38% no período pós-barragem.

Tabela 6: Diferenciação da influência dos níveis fluviométricos do rio Paraná sobre zonas de inundação da planície fluvial, em função das propostas elaboradas por Rochas (2002) e Corradini (2006). As observações mostram as principais diferenças e implicações ao se utilizar, para os mesmos processos, diferentes cotas.

Se as conexões rio-planície acontecem como proposto por Corradini (2006) o cenário ambiental é ligeiramente melhor, em particular para as unidades mais baixas da planície e poderia existir ainda uma possibilidade de manipulação das vazões para diminuir o impacto nas unidades mais altas da planície fluvial, pelo menos, para manter uma recorrência bi-anual ou tri-anual, no caso de se programar um manejo utilizando o conceito de vazões ecológicas. Porém, se as cotas definidas por Rocha (2002) são corretas, a situação ecológica da planície aluvial desde a ótica da conectividade e pulsos de cheia é nefasto para todas as unidades localizadas acima da cota 460 cm, e a possibilidade de implementar um manejo de vazões para recuperar ou manter, ao menos parcialmente, as unidades superiores seria praticamente inviável.

Embora Corradini (2006) tenha realizado um detalhado levantamento topográfico com estação total, e calibrado as cotas com os níveis altimétricos da estação Porto São José, parecem existir problemas no tratamento dos dados hidrológicos no software Pulso apresentados pelo autor, em particular nas frequências e permanências.

Segundo Corradini (2006) a UpB, ou seja a unidade mais baixa, permaneceu 8.906 dias em águas altas (potamofase) e 5.674 dias em águas baixas (limnofase) para uma série histórica de 39 anos, porém o somatório dos valores tem uma duração de 39,8 anos. A partir das cotas sugeridas por Corradini (2006) esta unidade começa a ser inundada na cota 2 m e em 2,8 m fica totalmente coberta de água, a situação fica muito diferente a mencionada por esse autor, devido a que a curva de permanência indica que em realidade para cota de 2 m a fase de limnofase teria uma duração média de 3,98% enquanto, o período de potamofase teria uma duração de 96,2%.

Por outro lado, contrariamente ao trabalho topográfico realizado por Corradini (2005), Rocha (2002) não especifica como foram obtidos os dados de campo nem quantos perfis ou transectos foram feitos para calibrar e ajustar precisamente, as cotas da planície com as da estação Porto São José.

Independentemente dos valores que sejam considerados (Tabela 6) percebe-se que desde o ponto de vista hidrológico, são três os maiores problemas que sofre a conectividade rio-planície.

Primeiro, a diminuição no período posterior a Porto Primavera (1999 a 2006) dos picos de cheia de 20 a 25% nas diferentes estações estudadas. Segundo, que estas cheias, agora são de menor duração que nos dois períodos anteriores, e as unidades localizadas a partir de cota 350 cm têm sofrido uma forte redução da permanência dos fluxos que recebem. Terceiro, um aumento drástico das recorrências para as cotas acima de 450 cm, ao ponto de que as unidades que necessitam de cotas acima de 600 cm para serem inundadas quase não têm sofrido inundações, e as que necessitam de 700 cm não tem sofrido nenhuma, desde que a represa começou a operar.

Considerações finais

A área de estudo abordada nesta pesquisa abrange o último remanescente de várzea inserida no alto curso do rio Paraná em território brasileiro. Sua importância ecológica tem levado à criação de áreas de conservação e a concentrar nela uma grande quantidade de pesquisas multidisciplinares.

O sistema fluvial do Alto Paraná sofre grande pressão da ação humana. Dentre os impactos ocasionados, as represas para geração de energia têm sido o que mais afetou a dinâmica fluvial e sua planície de inundação, a qual foi praticamente coberta pelas águas dos reservatórios.

Embora protegido, o remanescente de várzea localizado entre Porto Primavera e Itaipu está praticamente condenado desde o ponto de vista ecológico. Neste estudo somente se analisaram variáveis hidrológicas, mas também, é sabido que mais de 80% dos sedimentos produzidos na bacia são retidos pelas represas (Vorosmarty et al, 2003). No caso do segmento estudado a construção de Porto Primavera tem produzido um decréscimo da carga em suspensão e uma alteração na distribuição temporal da mesma (Crispim 2001), mudanças nas dimensões das formas de leito (Martins e Stevaux, 2005) e processos de erosão lateral (Fernandes, 1990).

Todo o suprimento de carga de fundo foi cortado, e a carga suspensa foi reduzida a valores inferiores a 1 mg/l (Souza-Filho, 1999, Souza-Filho et al 2004, Hayakawa, 2007).

O problema da conectividade no campo da Ecologia e a introdução recente na sociedade brasileira do conceito de vazões ecológicas são pontos de importância vital para esse ecossistema fluvial. Os estudos de conectividade têm que ser substancialmente melhorados, já que até o presente as três tentativas anteriores a este estudo tem mostrado distintos tipos de falhas.

Neste trabalho se analisou, por meio da utilização de metodologias clássicas de hidrogeomorfologia fluvial, o comportamento hidrológico do sistema em três períodos: 1971 a 1981, 1982 a 1998 e 1999 a 2006 e suas respectivas permanências e recorrências. Estes valores foram relacionados com os níveis ecologicamente importantes, sugeridos para a planície desde a óptica geomorfológica.

Como conclusão, se obtém que o impacto da represa de Porto Primavera é um elemento fortemente impactante do sistema fluvial. Tanto a distribuição das vazões como a frequência e intensidade dos picos de cheias tem mudado substancialmente. As unidades mais altas da planície aluvial estão praticamente sujeitas a uma terrestrialização inexorável que levará a uma perda de diversidade em curto prazo. Unidades intermediárias também estão sujeitas a menor frequência e duração dos pulsos de cheias, o que possivelmente, afetará sua composição e diversidade. O incremento das mínimas tem levado a que aumente o stress hídrico sobre os sistemas baixos de planície que permaneciam menos tempo inundados.

Desde o ponto de vista de Ecologia de ambientes aquáticos e das políticas de conservação, o Alto Paraná vive um dilema, ao qual não são alheios outros grandes sistemas fluviais brasileiros como, por exemplo, o rio São Francisco. Tarefas de

restauração parecem impossíveis, tendo em consideração não somente os impactos produzidos sobre o regime hidrológico, mas também, sobre o transporte de sedimentos.

A intensa demanda energética do Brasil faz pensar na improbabilidade de regular os fluxos do Alto Paraná, com a finalidade de gerar certas vazões “ecológicas” que pelo menos garantam certa funcionalidade, mais natural do sistema, e que mantenham viva, em parte, a fisiologia do ecossistema.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, ao Nupelia e Gema/UEM, ao Labogef/UFG. A Itaipu Binacional e Agência Nacional de Águas, pelo fornecimento de dados hidrológicos.

Bibliografia

- Agostinho, A.A. 1997. Qualidade dos habitats e perspectivas para a conservação. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A., Hahn, N.S. A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná: Maringá-PR, EDUEM: Nupelia, p: 455-460.
- Agostinho, A.A., Borghetti J.R., Vazzoler, A.E.A.M., Gomes, A.C. 1994. Itaipu reservoir: impact on the ichthyofauna and biological bases for its management. United Nations Center for Regional Development-UNCRD, *Research Report Series*, vol. 4. Editora: Universidade de Maringá-EDUEM, pp. 135-148.
- Bailey, P. 1995. Understanding Large river-floodplain ecosystems. *Bioscience* 45(3), 153-157.
- Camilloni, A. Barros, V. 2003. Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing, *Journal of Hydrology*, 278 (2003) 94–106.
- Comunello, E. 2001. Dinâmica de inundações de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto rio Parana. Tesis de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, 35p.
- Corradini F. 2006. Processos de Conectividade e a Vegetação Ripária do Alto rio Paraná. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.
- Crispim, J.Q. 2001. Alterações na hidrologia do canal após construção de reservatório a montante: o caso da Usina Hidroelétrica de Porto Primavera, Rio Parana. Dissertação de Mestrado, universidade Estadual de Maringá, 25p.

- Dunne, T. e Leopold, L.B.1998. *Water in Environmental Planning*, New York: W.H.Freeman and Company. 818p.
- Fachini, M.P. 2001. *Fitofisionomia e Levantamento Florístico em Transectos na Planície de Inundação do Alto rio Paraná (PR e MS)*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá (PR), 62p.
- Fernandez, O.V.Q. 1990. *Mudanças no canal do rio Paraná e processos de erosão nas margens: região de Porto Rico (PR)*. Dissertação de Mestrado, Uiversidade Estadual de Maringá, 25p.
- Fernandez, O.V.Q. e Souza-Filho, E.E. 1995. *Efeitos do Regime Hidrológico Sobre a Evolução de um conjunto de Ilhas no Rio Paraná*. *Bol.Paranaense de Geociências*, Vol.43.
- Giacosa, Ricardo, Paoli, C. e Cacik, P. 2000. *Conocimiento del Regimen Hidrológico*. In: *El río Paraná en su tramo médio: Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura*. Paoli, C. e Schreider (eds.) Universidad Nacional del Litoral. Argentina.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J., Nathan, R.J. 2005. *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. John Wiley & Sons, Ltd. (second edition). 430p.
- Gore, J. e Shields Jr, D. 1995. *Can be large rivers be restored?* *Bioscience* 45(3), 142-152.
- Hayakawa E. H. 2007. *Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos do Alto rio Paraná via imagens orbitais: região de Porto São José-PR*. Dissertação de Mestrado defendida junto ao Programa de Pós Graduação em Geografia UEM. 78 pp. (inédita).
- Iriondo, M. 1986. *Modelos Sedimentários de Cuencas Continentales: las llanuras de agradación*. *Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos*. Buenos Aires, v.1, p.81-98.
- Junk W.J., Bayley P.B. e Sparks R.E. 1989. *The flood pulse concept in river-floodplain systems*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 106: 110-127.
- Junk, W.J. e Wantzen K.M. 2006. *The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications - an update*
- Leopold, L.B.; Wolman, M.G. & Miller, J.P. 1995. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publications p27-80. 522p
- Lambert, R. 1990. *Pour une approche géographique du temps de retour des averses et de crue*. In : *Colloque de Vernet*. Univ. des Perpignan, 15p.
- Lambert, R. Gholami, M, Prunet, C. *Metodologie pour une cartographie informative des zones inondables em Midi-Pyrenées*. Université Toulouse II, 30p.

- Latrubesse, E.M. e Carvalho, T. 2006. Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. Superintendência de Geologia e Mineração, Estado de Goiás. 127p.
- Leopold. L.B. 1994. Distribution of Discharge in Space and Time. In. A View of the River. Havard University Press. 2.ed. Cambridge. Pp 83-97. 289p
- Leopold. L.B. 1994. Flow Variability and Floods. In. A View of the River. Havard University Press. 2.ed. Cambridge. Pp 110-125. 289p
- Ligon, F., Dietrich, W., Trush, W. 1995. Downstream Ecologic Effects of Dam. *Bioscience* 45(3), 183-192
- Meurer, M. 2003. Análise dos regimes de cheias dos rios Paraná e Ivinhema na região de Porto Rico/PR. *Geografia* 28(2), 185-195.
- Neiff, J.J., Casco, S.L., Orfeo, O. 2005. Metodos para la medición de la conectividad entre procesos hidrológicos y geomorfológicos en ríos entrelazados. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6 (1), 75-84.
- Neiff, J.J. 1990. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia. Venezuela*, 15(6): 424-441.
- Neiff, J.J. 1999. El regimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. In: Malvárez, A.I.(ed). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Universidad de Buenos Aires. Argentina, 97-146.
- Paoli, C.Iriondo, M. Garcia, N. 2000. Características de las cuencas de aporte. El río Paraná en su tramo medio (Paoli, C. y Schreider, M. eds.), 29-68.
- Petts, G.E. e Calow, P. 1996. Fluvial Hydrosystems: The Phisical Basis. In: *River Flows and Channel Forms* (ed.: Petts G.E. & Calow, P.) Blackwell Science. P:1-5
- Poff, H.L, Allan, D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D. Sparks, R.E. e Stromberg, J.C. 1997. The Natural Flow regime: A Paradigm for Rivers Conservation and Restoration. *Bioscience*, vol. 47, n.11. p: 769-784.
- Rocha, P.C. 2002. Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná nas proximidades de Porto Rico-PR. Tesis de doutorado, Universidade Estadual de Maringá, 169p.
- Rocha, C. C., Santos, M. L., Souza filho, E. E., 2001. Alterações no regime hidrológico do alto rio Paraná como resposta ao controle de descargas efetuado por grandes barramentos a montante. *VIII Encuentro de Geógrafos de América Latina*, Santiago-Chile, pp. 28-39.
- Rocha, P.C., Souza Filho, E.E., Fernandez, O.V.Q., 1998. Aspectos do controle de descargas efetuado por barramentos no alto rio Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências* nº 46. Curitiba-PR, pp. 117-122.

- Santos, M.L., e Stevaux, J.C., 2000. Facies and architectural analysis of channel sandy macroforms in the upper Paraná river. *Quaternary International*, 72, pp. 87-94.
- Souza-Filho, E.E. 1993. Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR). São Paulo, 1993. 214 p. (Tese de Doutorado) – IG-USP.
- Souza-Filho, E.E.; Stevaux, J.C. 1997. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: Vazzoler, A.E.A.M.; Agostinho, A.A.; Hanh, N.S. (Eds). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá, EDUEM: Nupélia, p.3-46.
- Souza Filho, E.E. e Stevaux, J.C. 2004. Geology and Geomorphology of the Baía-Curutuba-Ivinhema river complex, Chapter 1,. Em *The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*, (Thomaz, S.N., Agostinho, A.A. and Han, N.S. eds), Backhuys Publishers, 1-29.
- Souza-Stevaux, M.C., Romagnolo, M.B.; Previdello, M.E. 1995. Florística e fitossociologia de um remanescente florestal às margens do rio Paraná, município de Porto Rico, PR. In.: Congresso Nacional de Botânica, 46. Ribeirão Preto, SP. *Resumos dos trabalhos apresentados...* Ribeirão Preto: Sociedade Botânica do Brasil. p. 325.
- Souza-Filho, E., Rocha, P.C., Comunello, E. E Stevaux, J.C.2004. Effects of the Porto Primavera dam on physical environment of the downstream floodplain. Em *The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*, (Thomaz, S.N., Agostinho, A.A. and Han, N.S. eds), Backhuys Publishers, 55-74.
- Stevaux, J. C., 1994. The upper Paraná River (Brazil): Geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *Quaternary International*, v.21:143-161.
- Stevaux, J.C., Souza-Filho, E., Medeanic, S., Yamshkikh, G. 2004. The quaternary history of the Parana river floodplain. Em *The Upper Parana River and its floodplain:Physical aspects, Ecology and Conservation*, (Thomaz, S.N., Agostinho, A.A. and Hanh, N.S. eds), Backhuys Publishers, 31-53.
- Thomaz, S.M., Roberto, M., Bini, L. 1997. Caracterização Limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: Vazzoler, A.E.A.M., Agostinho, A.A., Hahn, N.S. *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná: Maringá-PR*, EDUEM: Nupelia.
- Tundisi, J G. Tundisi, T.M., Rocha, O. 2002. Ecossistemas de Águas Interiores. In: águas doces no Brasil: capital Ecológico, uso e conservação. 2.º Edição Revisada e Ampliada. Escrituras. São Paulo - 2002. Organização e Coordenação Científica: Aldo da C. Rebouças; Benedito Braga. P: 184 - 186.

Vorosmarty, Ch., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P, Syvytski, J.
2003. Anthropogenic sediments retention: major global impact from registered
river impoundments. *Global and Planetary Changes*, 39, 169-190.

Ward, J.V. e Stanford, J.A. 1995. Ecological Connectivity in Alluvial River
Ecosystems and Its Disruption by Flow Regulation: Regulated Rivers: Research &
Management, vol. 11, 105-119p.

World Commission of Dams. 2006. www.dams.org

Caracterização Hidrológica e Geomorfológica dos Afluentes da Bacia do Rio Araguaia

Resumo

O conhecimento do comportamento hidrológico e geomorfológico da bacia do Araguaia têm avançado significativamente nos últimos anos. Porém, dados essenciais para o entendimento do sistema e para o planejamento de recursos hídricos, como são as estimativas de aportes líquidos anuais dos tributários não foram obtidos. Neste artigo se organizou uma regionalização baseada na geologia e geomorfologia dominantes das bacias dos afluentes, se caracterizou o funcionamento hidrológico geral dos mesmos e com as 11 estações dos tributários disponíveis para toda a bacia se calculou uma curva de correlação entre as variáveis área de drenagem e vazão. Devido à falta de estações fluviométricas no baixo curso dos afluentes, se estimaram os aportes líquidos médios anuais dos mesmos por meio da utilização da curva mencionada e a área de drenagem na foz dos tributários. Foram calculados posteriormente, os aportes correspondentes para a alta, média e baixa bacia. Estes valores foram confrontados com os dados existentes nas principais estações hidrológicas localizadas no canal principal do Araguaia (9 estações).

A Alta bacia com uma representatividade de 10,3% da área de drenagem contribui com 9,8% das descargas líquidas. O médio Araguaia, representa um área de drenagem de 75,2%, a respeito do total contribui com 71%. O baixo Araguaia representa 14,45% da bacia e contribui com 14,5% da vazão.

Abstract

The knowledge of the hydrologic and geomorphologic behavior of the Araguaia fluvial system advanced significantly during the last years. However, some essential data, such as the mean water annual discharge sourced by the tributaries to the Araguaia main stem are yet unknown.

In this paper the tributaries were classified in function of the basin geology and geomorphology and hydrologic regime. By using 11 gauge stations available from the tributaries, a probabilistic curve *drainage area vs. mean annual discharge* was obtained. By using the equation and the drainage area to the tributaries mouth, the mean annual discharge was calculated for each tributary. The data (balance of tributary inputs in relation to the main stem record) were checked by using 9 gauge stations along the Araguaia River.

The upper basin represents 10.37% of the drainage area and contributes with 9.8 % of water discharge. The middle basin contributes with 75.18% of the area and 71% of water discharge and the lower Araguaia with 14.45% of drainage area and 14.22 % of the water discharge.

Palavras Chaves: Caracterização hidrológica, Tributários da bacia do Araguaia, Estimativas de Vazão e Áreas de drenagem.

Key words: hydrologic regime, Araguaia River, tributaries, discharge, drainage area

1 - Introdução

A utilização dos recursos hídricos no Brasil foi se intensificando com o desenvolvimento do país, tanto no que se refere ao aumento da quantidade exigida para determinado emprego, quanto no que se refere a variedade dessas utilizações que incluem o abastecimento público, consumo industrial, irrigação, recreação, geração de energia e transporte.

Os recursos hídricos são bens de relevante valor para o bem-estar da sociedade, pois a água é um bem de consumo na quase totalidade das atividades humanas, além disso, é também um meio onde habitam organismos que necessitam de condições ambientais adequadas.

Estudos sobre recursos hídricos são fundamentais para o planejamento e desenvolvimento dos recursos naturais, especialmente recursos de água doce, que atualmente são contextos de debates políticos e sociais.

No caso do Cerrado, a falta de planejamento regional dos órgãos de governo no uso dos seus recursos hídricos tem sido uma característica marcante.

Até a década de 50, o Cerrado brasileiro manteve-se quase inalterado por ação antrópica. A partir dos anos 60, esse amplo ecossistema foi sendo perturbado, dando margem à pecuária e à agricultura extensiva. Essas mudanças se apoiaram sobretudo na implantação de novas infra-estruturas viárias e energéticas. Os desmatamentos, queimadas, uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos, resultaram em 64% de áreas do Cerrado altamente modificadas (AGMA et al., 2004), com presença de voçorocas e assoreamento.

A partir da década de 90, governos e vários setores organizados da sociedade debatem como conservar o restante do Cerrado, com o intuito de buscar tecnologias embasadas no uso adequado dos recursos hídricos, no ecoturismo e em outras iniciativas que possibilitem um modelo de desenvolvimento sustentável, com perspectivas de preservação e proteção (Arruda et.al. 2000). Porém, o Cerrado, encontra-se, até o momento, pouco valorizado em termos de conservação, apresentando apenas 1,7% de sua área assegurada na forma de parques ou reservas naturais (Brasil, 2003). Dentro deste marco, a bacia do rio Araguaia é considerada como uma das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade aquática do cerrado (Arruda et. al. 2000).

Embora escassas, as pesquisas que abordam diferentes focos de análises sobre a bacia do Araguaia, particularmente no médio curso, aumentaram desde finais dos anos

90, principalmente por projetos desenvolvidos através dos laboratórios de Geologia e Geografia Física (LABOGEF) e do Laboratório de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (LAMARH) da Universidade Federal de Goiás, destacando-se resultados sobre a dinâmica hidrológica atual, transporte de sedimentos, unidades geomorfológicas, morfo-vegetacionais, sistemas lacustres da planície aluvial e processos erosivos, foram produzidos por Aquino et.al. (2005), Bayer (2002), Carvalho e Latrubesse (2004), Castro et al. (1999, 2004), França (2003), França e Latrubesse (2001), Latrubesse e Stevaux (2002), Latrubesse e Aquino, (2006), Latrubesse e Carvalho (2006), Marinho, et al, (2006), Morais (2002 e 2006), Morais e Latrubesse, (2002), Morais et al, (2005), Souza (2002), Vieira (2002) e Pinheiro (2004), entre outros. Adicionalmente, informações sobre transporte de sedimentos também foram geradas por Werneck Lima, et.al. (2003).

No entanto, pesquisas relacionadas às características hidrológicas na bacia, ainda são escassas, visto que, faz-se referência a este tema apenas em alguns relatórios técnicos do Serviço Geológico do Brasil-CPRM e da Agência Nacional de Águas-ANA, com ênfase em medidas quantitativas de fluxos de águas.

Embora, existam trabalhos sobre a dinâmica hidrológica do rio Araguaia, e importantes avanços no conhecimento de certos aspectos morfométricos, limnológicos e sedimentométricos, o funcionamento hidrológico dos tributários é ignorado, e não se conhece realmente qual é o aporte dos afluentes para a bacia, devido principalmente à falta de estações fluviométricas disponíveis. Basicamente, se desconhecem dados fundamentais dos afluentes como, por exemplo, aporte médio anual de cada bacia, e uma descrição geral das suas características hidrológicas e geomorfológicas.

Partindo dessa afirmativa, no que diz respeito a grande parte das sub-bacias do Araguaia, este artigo se propõe complementar e adicionar informações às pesquisas já existentes, tendo como objetivos organizar os dados fluviométricos sobre cada afluente, caracterizar as sub-bacias de acordo com as distintas unidades geomorfológicas presentes na bacia do Araguaia, realizar uma caracterização básica do comportamento hidrológico e estimar o aporte médio anual de vazão dos afluentes ao sistema fluvial do Araguaia.

2. O Rio Araguaia e seus Afluentes

A bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia é formada, entre outros, por três importantes tributários: Os rios Tocantins, Araguaia e das Mortes. É considerada a quarta maior bacia de drenagem da América do Sul, se estende por aproximadamente 800.000 km², abrangendo extensões de dois grandes biomas sul-americanos: a floresta tropical amazônica ao Norte e a vegetação de Cerrado ao Sul. Geograficamente é delimitada, ao sul, pelo Planalto Central; a oeste, pela Serra dos Carajás; a leste, pela Serra Geral de Goiás; e ao norte, pelo estuário do rio Amazonas.

A bacia Araguaia possui uma área aproximada de 383.999 km² (Souza, 2002), distribuída em quatro Estados: Goiás, Mato Grosso, Pará e Tocantins, embora grande parte da bacia situa-se na região Centro-Oeste. Apresenta configuração alongada no sentido longitudinal, desenvolvendo predominantemente na direção sul-norte e limita-se com bacias de alguns dos maiores rios do Brasil (Figura 1).

O Rio Araguaia nasce na serra dos Caiapós, numa altitude de 850 m.s.n.m, na divisa dos Estados de Goiás e Mato Grosso. É considerado um rio de baixa sinuosidade, com ilhas e braços e tendência ao entrelaçamento, sendo que em alguns trechos mostra uma disposição a possuir canal único, às vezes formando meandros. Ilhas e bancos de areia são feições aluviais principais ao longo do canal (Latrubesse e Stevaux, 2002).

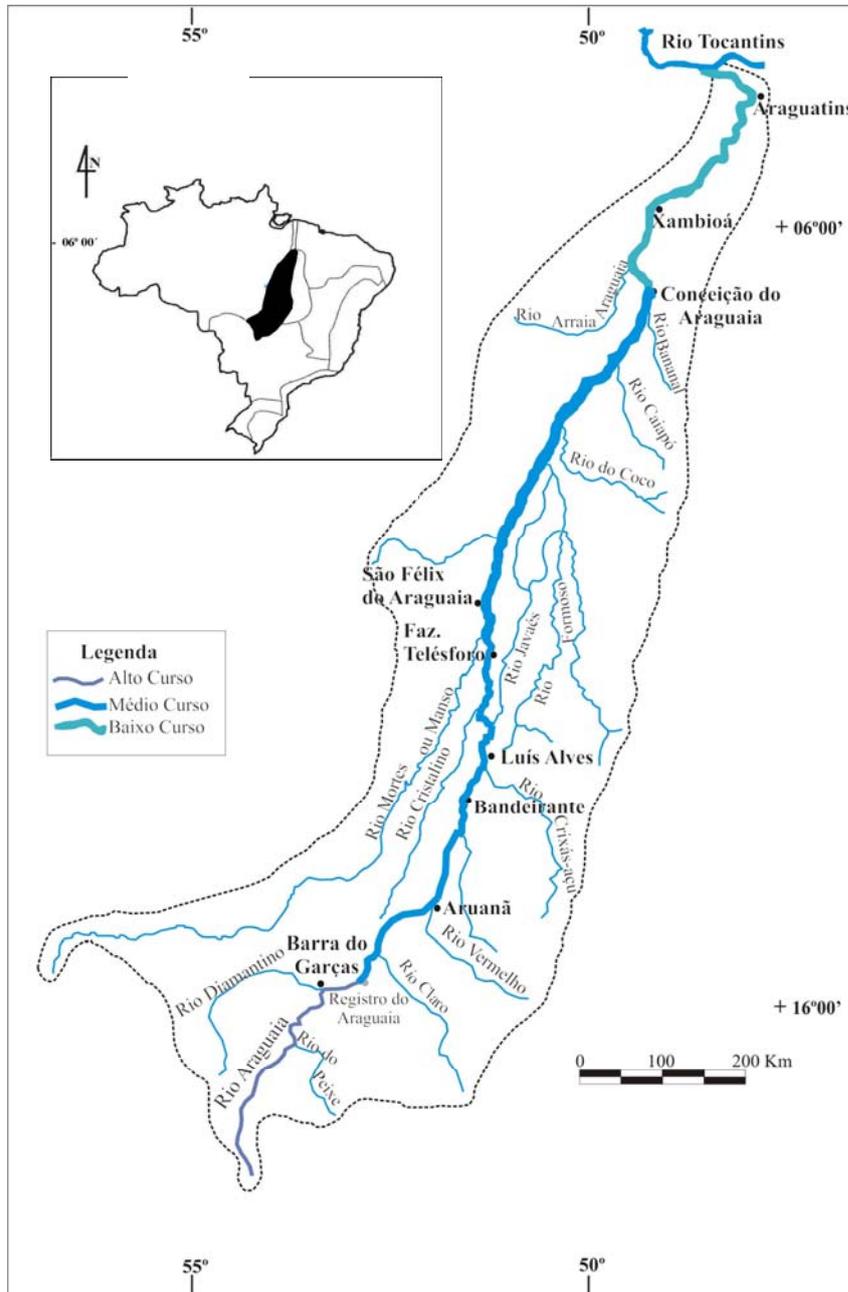
O Araguaia transcorre aproximadamente 2.100 km até a confluência com o rio Tocantins. Após percorrer 750 km (médio curso), divide-se em dois braços: O Araguaia e o Javaés, formando o que alguns consideram como a maior ilha fluvial do mundo, a Ilha do Bananal.

Com aproximadamente 350 km de extensão, a Ilha do Bananal trata-se de uma unidade que não forma parte da planície aluvial nem depende diretamente da dinâmica hidrológica do Rio Araguaia (Latrubesse e Stevaux, 2002), já que forma parte da Planície do Bananal, formada pelos sedimentos da Formação Araguaia.

Segundo Latrubesse e Stevaux (2002), o rio Araguaia é dividido em três segmentos: alto, médio e baixo Araguaia. O alto Araguaia drena uma área de 36.400 km² e se desenvolve da cabeceira até a cidade de Registro do Araguaia. Nesse setor o rio corre encaixado sobre embasamento cristalino composto por rochas pré-cambrianas e sedimentos paleozóicos da Bacia do Paraná (Figura 2). Geomorfologicamente esta área é formada por paisagens mais abruptas com elevações de até 1.000m. A morfologia neste

setor é típica de vales em V, controlados por lineamentos litológicos e estruturais pré-cambrianos.

Os principais afluentes desse setor são os rios: das Garças e Diamantino que fluem essencialmente pela margem esquerda (Figura 1).



Fonte: LABOGEF

Figura 1: Bacia do rio Araguaia e principais estações fluviométricas

No médio curso que se estende por 1.600 km desde Registro do Araguaia até Conceição do Araguaia, a área de drenagem aumenta drasticamente, alcançando uma área maior que 300.000 km².

Nesse trecho, o rio flui através de uma planície aluvial bem desenvolvida considerada um complexo mosaico de unidades morfo-sedimentares formadas por sedimentos do Holoceno e do Pleistoceno tardio que conformam três tipos de unidades geomorfológicas dominantes: a) planície de inundação de escoamento impedido b) unidade dominada por paleomeandros e c) planícies de barras e ilhas acrescidas.

Neste setor encontram-se os principais afluentes da bacia Araguaia, constituído pela margem direita pelos rios: Caiapó, Claro, Vermelho, Tesouras, do Peixe, Crixás-Açu, Formoso, Côco, Caiapó II, Piranhas e pela margem esquerda, os rios: Cristalino, Tapirapê e das Mortes (Figura 1).

O rio das Mortes que nasce na Serra do Roncador é considerado o mais importante tributário do canal principal, com aproximadamente 60.000 km² de área de drenagem, flui através da margem esquerda, apresenta padrão sinuoso e transcorre ao longo da Planície do Bananal em direção paralela com o rio Araguaia. Seu principal afluente é o rio São João, pela margem esquerda. Depois de percorrer uma extensão de 1.070 km deságua no Araguaia.

Na área superior do médio Araguaia, o rio corta blocos tectônicos de rochas pré-cambrianas. Mais adiante, nesse setor, o rio transcorre através de terras baixas da planície do Bananal, uma importante unidade geomorfológica e sedimentar, com mais de 90.000 km², que ocupa 23% da bacia fluvial (Latrubesse e Stevaux, 2002).

A planície do Bananal inclui ambientes aquáticos e características fluviodinâmicas particulares com muitos paleo-canais aluviais inativos. Esta extensa planície é temporariamente inundada durante a estação chuvosa, tanto por chuvas locais, como por saturação da freática. Como mencionado anteriormente, nesta área de sedimentação inclui-se a Ilha do Bananal.

O baixo Araguaia se constitui depois da localidade de Conceição do Araguaia até sua confluência com o rio Tocantins. Inicia-se depois da planície do Bananal, quando a planície aluvial praticamente desaparece e o rio entra em área de rochas paleozóicas e principalmente, de rochas cristalinas pré-cambrianas, com extensão aproximada de 500 km até a confluência com o Tocantins (Figura 2). Os principais afluentes desse trecho são pela margem direita os rios: Jenipapo, Muricizal, Lontra, Corda, Piranhas II, Martinho e Barreiro, e pela margem esquerda os rios: Pau'darco, Itaipava, Xambioá e Gameleira.

3. Aspectos Climáticos da Bacia

As condições climáticas que predominam na bacia são de natureza continental tropical, devido à sua posição continental, não sofre o efeito direto da confluência intertropical. Apresenta-se semi-úmido com tendência a úmido, com a 4 a 5 meses secos.

O clima é marcado por uma estação chuvosa e uma seca, com um mês de transição entre elas. O período mais chuvoso estende-se de outubro a abril, e o mais seco está compreendido entre maio e setembro. Na parte norte da bacia os meses de janeiro a março são os mais chuvosos, e nas partes central e sul a pluviosidade é maior entre dezembro e fevereiro. A precipitação média anual varia entre 1.300 e 1.800 mm na parte alta da bacia, e chega a superar 2000 mm na parte Norte (SGM, 2006).

O mesmo ocorre com a temperatura média anual, que aumenta de 22^oC, no extremo sul da bacia, para 26^oC, na parte norte da bacia.

4. Regionalização geológica/geomorfológica dos afluentes da bacia

Grandes rios tropicais fluem sobre uma multiplicidade de províncias geológica-geomorfológicas constituídas por cinturões orogênicos, platôs/plataformas sedimentares e basálticas, áreas cratônicas, planícies em bacias sedimentares e áreas geologicamente variadas (mistas), sendo que a bacia do rio Araguaia drena principalmente sobre terrenos mistos dominados por plataformas constituídas por bacias sedimentares paleozóicas-mesozóicas e áreas cratônicas, áreas bastante estáveis do embasamento cristalino pré-cambriano (Latrubesse et.al. 2005).

A bacia do rio Araguaia é dominada por 3 unidades geológicas dominantes constituídas por rochas pré-cambrianas, rochas paleozóicas e mesozóicas da bacia do Paraná e sedimentos terciários e depósitos quaternários na planície do Bananal (Latrubesse e Stevaux, 2002) (Figura 2).

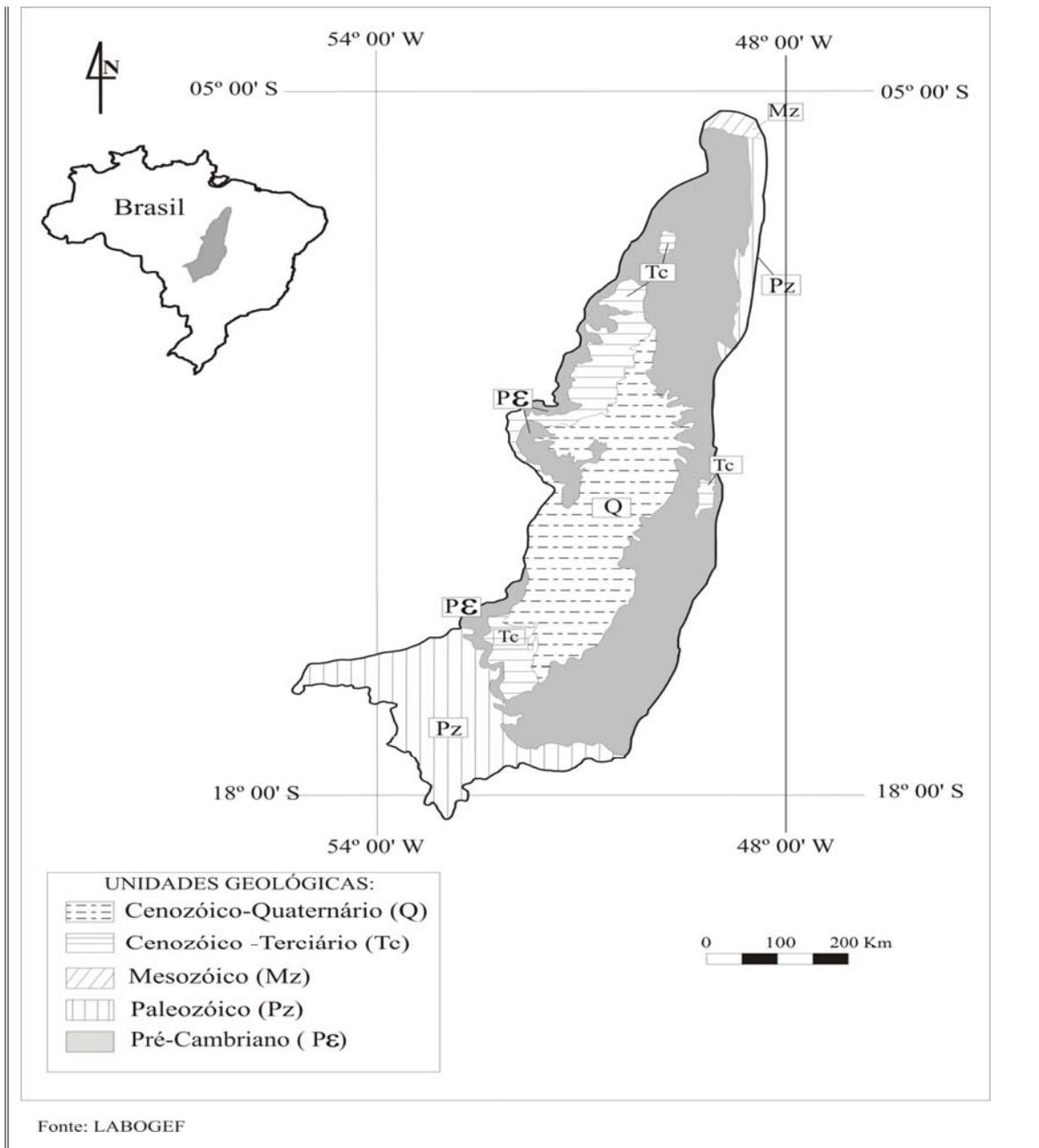


Figura 2: Unidades Geológicas da Bacia do rio Araguaia

4.1. Rios da alta bacia que drenam predominantemente rochas Paleozóicas e Mesozóicas da Bacia do Paraná

Esta unidade geológica é formada basicamente por arenitos, siltitos, argilitos e basaltos da Província Geológica do Paraná, onde escoam rios menores da alta bacia como o Diamantino e das Garças. O Rio das Mortes nasce nessa unidade, mas logo transcorre sobre sedimentos Cenozóicos Terciário e Quaternário (Tabela 1).

Os principais sistemas fluviais do alto Araguaia têm suas cabeceiras associadas e circulam entalhados na superfície regional de aplanamento III e em parte na superfície IVc. Nesta unidade se encontra associada a essa rede de drenagem uma série de espetaculares voçorocas (Marinho et al., 2006).

4.2. Rios que drenam predominantemente ao longo de Planícies sedimentares Quaternárias

O médio curso da bacia Araguaia recebe uma série de afluentes que transcorrem, do ponto de vista geomorfológico, sobre uma planície fluvial ligeiramente dissecada, comumente conhecida como planície do Bananal, a qual se estende desde Caseara, ao norte, até Registro do Araguaia, ao Sul, ao longo de aproximadamente 730 km com cotas oscilando entre 300 e 165 metros. Esta unidade geomorfológica está principalmente formada por sedimentos aluviais Terciários e Quaternários da Formação Araguaia, as vezes cobertos com crostas lateríticas.

O mais importante tributário do Araguaia é o rio das Mortes, que apesar de possuir suas cabeceiras formadas nos relevos tabuliformes da Bacia do Paraná é sustentado na margem esquerda pelas terras altas da Serra do Roncador e na margem direita pela planície do Araguaia. Este rio caracteriza-se por gerar uma planície aluvial bem desenvolvida com padrão caracteristicamente meandriforme.

Dentro dessa categoria também se encontra o Javaés, o qual se trata de um rio sub-adaptado (*under-fit stream*) que circula ocupando uma antiga faixa fluvial abandonada do rio Araguaia. Devido ao fato de não possuir cabeceira sua dinâmica hidrológica é totalmente dependente do regime hidrológico do rio Araguaia, que o alimenta durante o período de cheias.

O terceiro rio em importância desse sistema é o Cristalino, que nasce dentro da planície do Bananal, ocupando um sistema de antigos paleocanais sobre a planície do Baanal.

Os rios alimentados pelas terras baixas da planície constituem as bacias dos rios Cristalino, Tapirapê e alguns afluentes da margem esquerda do rio Javaés, e outras pequenas bacias do médio curso que têm suas cabeceiras originadas no escudo, mas transcorrem quase integralmente através da planície (Tabela 1).

4.3. Rios que drenam rochas do Embasamento Cristalino Pré-cambriano

Em grande parte da bacia Araguaia os afluentes, principalmente os de margem direita do alto, médio e baixo cursos e os de margem esquerda do baixo curso (Tabela 2), nascem e transcorrem sobre uma variedade de rochas pré-cambrianas formadas por quartizitos, migmatitos, granulitos, gnaisse e xistos, predominantemente, das províncias geológicas do Tocantins, da Amazonia Central e Carajás (Tabela 1).

Do ponto de vista geomorfológico, possuem as cabeceiras numa série de Colinas e morros fundamentalmente com controle estrutural ou superfícies regionais de aplainamento, que se estendem de norte a sul no centro do estado de Goiás fluindo ao longo da superfície regional de aplanamento IV C entre 40 e 165 metros de altura.

Dentro desse grupo se encontram os principais afluentes da margem direita no médio Araguaia, os quais drenam integralmente dentro do estado do Goiás, sendo eles: os rios Peixes, Claro, Vermelho e Crixás-Açu, esses rios apresentam planícies bem desenvolvidas e complexa, com padrão predominantemente meandriforme, dentro dessa planície fluvial se identificam meandros abandonados e espiras de meandros e o conjunto desses sistemas representam as maiores áreas de sedimentação fluvial do Estado de Goiás.

No baixo Araguaia também afloram rochas paleozoicas e mesozoicas da Província Geológica Paranaíba embora não são arealmente dominantes.

Alto Araguaia	Rios que drenam dominantemente sobre rochas Paleozóicas – Mesozóicas da Bacia do Paraná	Diamantino
		Garças
		Peixes I
		Peq. Afluentes
Médio Araguaia	Rios que drenam dominantemente sobre rochas Pré-Cambrianas	Caiapó
		Claro
		Vermelho
		Peixes
		Crixás-Açu
		Formoso
		Vários afluentes da margem direita do rio Javaés
		Côco
		Caiapó II
		Piranhas
	Sub bacias 12, 13 e 14	
	Rios que drenam dominantemente sobre Planície de sedimentos do Cenozóico tardio	Mortes (nasce na unid. Paleozóica- Mesozóica)
		Cristalino
		Tapirapê
Sub bacias V, VI, VII, VIII, IX, X, XI (nascem na unid. Pré-cambriana) XII, XIII, XIV e XV		
Baixo Araguaia	Rios que drenam dominantemente sobre rochas Pré-Cambrianas	Sub 15
		Cunhas
		Jenipapo
		Muricizal
		Sub 18
		Lontra
		Corda
		Piranha III
		Martinho
		Barreiro
		Sub XVI
		Pau d' arco
		Rib. Andorinhas e peq. Córregos
		Rib. Água Fria
		Sub XX
		Itaipava
Xambioá, Gameleiras e Córregos		

Tabela 1: Tributários do rio Araguaia e respectivas unidades geomorfológicas as quais drenam.

Do ponto de vista da unidade geológica/geomorfológica os rios de planície representam uma área de 119.774 km², ou seja, 31,2% da área total da bacia, enquanto os rios que drenam através das unidades Pré-Cambriana constituem 225.536 km², o que

representa 58,8% da bacia, e os rios que drenam sobre a Província geológica do Paraná correspondem a 38.688 km² e 10% da bacia.

5. Regime Hidrológico na Bacia Araguaia

5.1 – Distribuição das vazões no canal principal

Dados de vazão média anual, picos máximos e mínimos da série histórica para nove estações do rio Araguaia são mostrados na Tabela 2.

Os picos de cheias do Araguaia acontecem nos meses de janeiro a maio, contudo no alto curso em alguns anos há variabilidades e acréscimos nos picos que começam no mês de dezembro. Os maiores picos geralmente acontecem entre janeiro e abril para o alto e médio curso, já os picos de cheias no baixo curso se dão a partir de março até maio, se constituindo num regime relativamente simples com uma temporada de cheia e outra de seca que está em conformidade com o clima da bacia, típico das áreas de ocorrência de cerrado, caracterizado por apresentar duas estações bem definidas: a chuvosa frequentemente marcada nos meses de outubro a abril e a estação seca que começa a partir de maio até setembro. Também, se percebe que as três maiores cheias do período considerado ocorreram entre os anos de 1979, 1980 e 1983, enquanto os anos marcadamente secos ocorreram em 1975, 1984, 1987 e 1996.

O rio Araguaia tem picos de vazão bem definidos durante a estação chuvosa e fluxos bem inferiores durante a estação seca, quando diminui as chuvas. A grande variabilidade estacional é refletida em todos os setores do curso principal caracterizando a grande variabilidade de descargas em sistemas fluviais tropicais (Tabela 2).

Estação Hidrológica	Área de Drenagem km ²	Vazão Média Anual Qm (m ³ /s)	Vazão Máxima Qmax (m ³ /s)	Vazão Mínima Qmin (m ³ /s)	Coefic.Médio Variabilidade Qmax/Qmin
Barra do Garças	36.423	600	4668	101	16
Aruanã	76.964	1200	8374	182	13.6
Bandeirantes	92.638	1500	5863	203	12
Luis Alves	117.580	1700	6059	243	10
Fazenda Telésforo	131.600	1488	5596	182	9.6
São Félix do Araguaia	193.923	2700	9126	440	9
Conceição do Araguaia	320.290	5000	24835	518	17
Xambioá	364.496	5410	25160	445	18
Araguatins	376.659	5800	26283	715	17

Tabela 2: Dados hidrológicos com coeficientes médios de variabilidade de vazões para o Rio Araguaia.

Geralmente, no alto curso (Barra do Garças) e no início do médio curso (Aruanã), onde o rio flui sobre rochas da bacia sedimentar do Paraná e Pré-cambrianas, ocorrem vazões com valores entre 9 e 7 vezes maiores que a média da série, já no médio curso, no qual o rio transcorre principalmente sobre sedimentos da planície aluvial, os valores estão entre 3 e 4 da média, e novamente tornam a se elevar no baixo curso, com valores que estão entre 4 e 6.

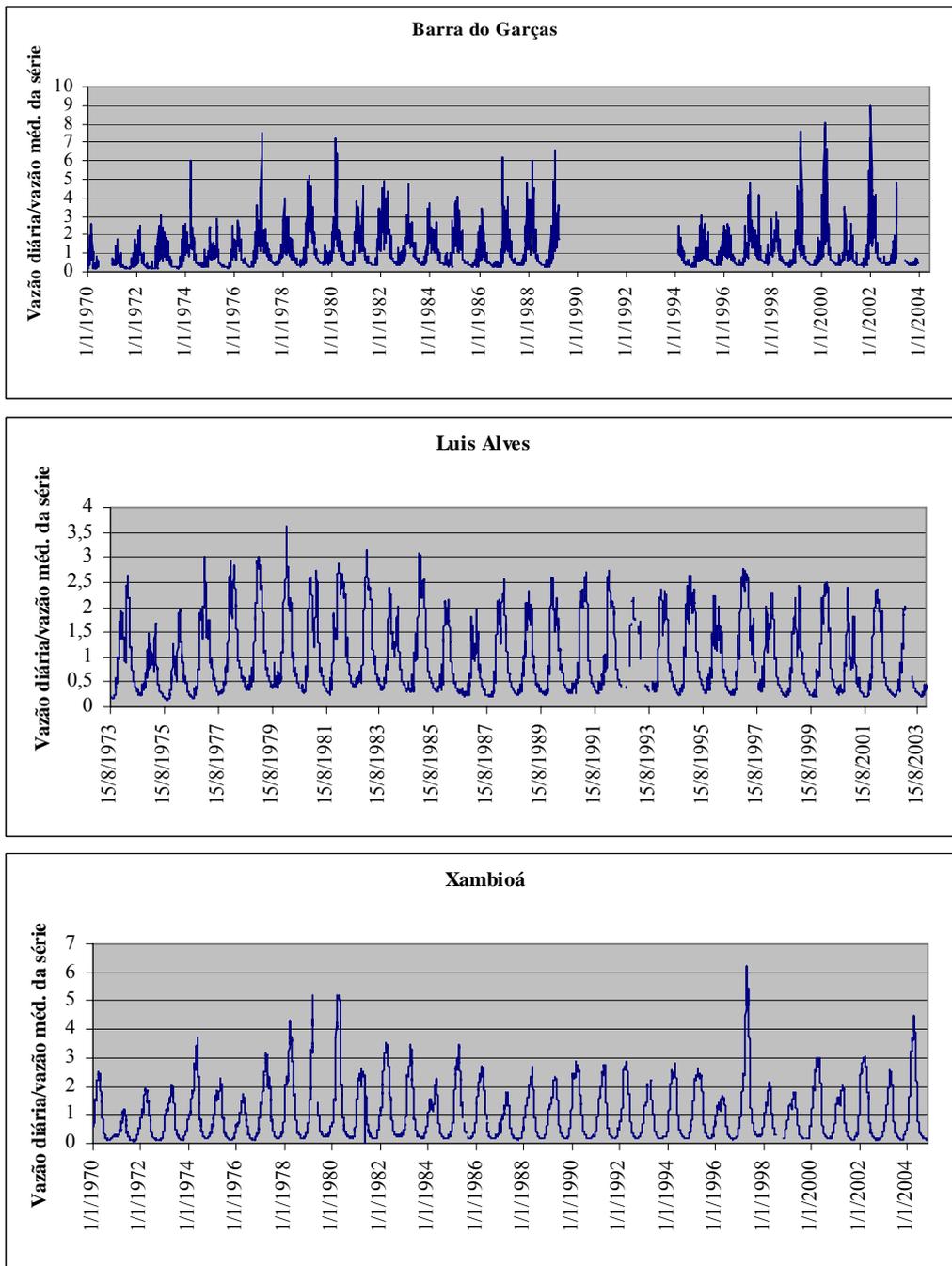


Figura 3: Hidrogramas de vazão média diária normalizados em relação a média da série histórica de cada estação hidrológica.

5.2 - Distribuição das Vazões dos Principais Afluentes do rio Araguaia

Os canais naturais dos rios aumentam o tamanho à medida que seguem para baixo curso, com a entrada dos tributários e, conseqüentemente, adição de fluxos de águas, sendo que o aumento na área de drenagem constitui, em sistemas perenes, no aumento da vazão.

Na bacia Araguaia as informações do funcionamento hidrológico dos principais tributários é pouco significativa ou inexistente, pois, há poucas estações hidrológicas nos afluentes.

Para os tributários de toda a bacia conseguimos adquirir informações sobre 25 estações hidrológicas através da Ana-Agência Nacional de Águas, no entanto, para muitas dessas estações existem os pontos de localização, mas não estão em operação, portanto, dados fluviométricos foram disponíveis apenas para 11 estações hidrológicas operadas, e muitas delas com série histórica incompleta. A Tabela 3 mostra características hidrológicas gerais desses tributários e a Tabela 4 apresenta valores de vazões médias mensais, máximas mensais e mínimas mensais correspondentes aos aportes de margem direita e esquerda dos tributários que possuem suas estações hidrológicas.

Rios	Estações	Série Histórica	A.Drenagem km ²	Vazão média m ³ /s	Vazão máxima	Vazão mínima
Mortes	Sto.Ant. do Leverger	1969 a 2003	59.163	899	3.462 (02/1980)	196 (09/1971)
Cristalino	Jus. Barra do Forquilha	1984 a 2003	8.039	104	1247 (02/1997)	1,59 (10/2002)
Javaés	Barr. Do Pequi	1986 a 1999	-	212	1210 (03/1997)	0,647 (09/1999)
Javaés	Barr. da Cruz	1970 a 1999	40.320	680	4.000 (04/1982)	1,78 (09/1971)
Caiapó	São Ferreira	1971 a 2003	11.804	206	2574 (02/1983)	16,9 (09/1972)
Claro	Mtes.Claros de Goiás	1971 a 2003	9.765	136	1.392 (01/1977)	10,3 (11/2002)
Vermelho	Travessão	1974 a 2000	5.242	81	1.704 (02/1980)	1,4 (08/1976)
Crixás-Açu	Jus.Rio Pintado	1980 a 2003	18.600	188	1.080 (03/1977)	3,5 (09/2002)
Formoso	Proj. Rio Formoso	1981 a 1996	7.920	110	399 (01/1986)	0,3 (08/1984)
Coco	Caseara	1999 a 2002	5.873	118	325 (03/2002)	1,97 (10/1999)
Piranhas	Pte.Rio Piranhas	1981 a 2003	1.509	26	69,2 (02/1985)	0,44 (09/1990)
Jenipapo	Arapoema	1988 a 2003	1.386	28	166 (02/1993)	1,25 (09/1988)

Tabela 3: Dados hidrológicos referentes às vazões dos tributários do Rio Araguaia que possuem estações fluviométricas.

Valores de vazões médias mensais, máximas mensais e mínimas mensais correspondentes aos aportes dos afluentes de margem direita e esquerda:

Afluentes da Margem Direita - Rio Araguaia

Caiapó												
Série: 1971 a 2003	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	1999	2574	2181	1588	558	785	191	118	224	466	960	1538
Média	472	456	426	259	137	99,8	67,8	51	48,8	66,2	125	285
Mínima	61,7	42,5	115	61,5	39,2	33,9	27,1	19,4	16,9	19,4	28,6	25,9
Rio Claro												
Série: 1971 a 2003	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máximas	1392	1195	1157	875	537	183	151	97,4	109	420	634	1058
Média	259	265	254	185	97,8	117	51,7	40	37,1	49,8	88,7	186
Mínima	33,4	58,9	22,5	42,6	30,6	25,1	19	14,4	12,9	14,6	10,3	27,9
Vermelho												
Série: 1974 a 2000	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	1043	1704	973	973	236	242	65,7	40,9	66,5	279	479	1010
Média	193	202	164	107	53,6	34,7	22,6	15,5	13,7	20,4	44	118
Mínima	20,2	32,6	25	25,2	17,7	11	3,48	1,4	1,58	2,43	5,48	10,5
Crixás-Açu												
Série: 1980 a 2003	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	863	882	1080	964	493	184	124	64,9	53,5	137	299	728
Média	403	407	398	321	166	76	38,6	22,1	18,2	40	81,3	226
Mínima	71,5	93,8	117	65,6	35,6	14,5	6,46	3,5	3,5	3,95	5,79	40,2
Formoso												
Série: 1981 a 1996	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	399	391	357	368	251	49,7	58,5	63,2	78,8	103	167	399
Média	203	247	240	212	72	21,1	16,4	13,4	17,4	21,4	38,4	115
Mínima	8,61	28,9	46,4	60,6	18,5	6,07	3,2	0,3	0,4	4,24	4,62	7,5
Rio Côco												
Série: 1999 a 2002	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	297	324	325	314	310	85	28,2	9,05	4,56	26,4	108	207
Média	222	255	281	276	165	52,3	16	5,83	2,84	5,37	23,2	100
Mínima	169	180	191	193	78,6	25,9	7,6	3,55	2,11	1,97	3,8	7,32
Rio Piranhas												
Série: 1981 a 2003	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez

Máxima	86	69,2	66,5	65,5	60,4	44,1	9,76	4,16	16,2	26	54,8	67,3
Média	49	51,9	53,9	49,8	30,5	9,6	3,84	2,3	2,07	5,08	15,3	34,8
Mínima	11,7	24,8	32,2	12,7	5,08	2,04	1,25	0,67	0,45	0,67	1,68	4,88
<i>Rio Jenipapo</i>												
Série: 1988 a 2003	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	165	166	154	160	130	38,6	19,3	9,35	18,4	32,4	109	105
Média	48,6	49,4	58	53,5	34,5	14	7,63	5,21	5,4	8,77	16,9	33
Mínima	12,3	12,9	20	15,9	9,39	4,61	2,84	1,68	1,25	1,9	4,35	8,27

Afluentes da margem esquerda

Mortes

Série: 1969 a 2003	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	2863	3462	3374	3009	1728	1089	945	648	598	626	1133	1926
Média	1441	1624	1680	1435	894	589	459	393	368	397	547	891
Mínima	351	396	483	655	351	289	232	219	196	217	292	323

Cristalino

Série: 1984 a 2003	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	610	874	639	1247	304	127	41,3	33,4	24,1	17,5	54,8	235
Média	177	285	329	269	112	44,5	21,4	13,7	9,03	8,2	11,5	33,3
Mínima	9,92	74,6	73,6	80,9	25,9	12,1	8,51	5,5	2,42	1,59	1,8	6,42

Rio Javaés - Barreira do Pequi

Série: 1986 a 1999	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	691	726	735	723	644	205	63,5	56,5	14,6	23,8	88,1	670
Média	372	524	613	533	267	71,5	31	12,2	6,17	5,57	14,3	133
Mínima	31,4	160	172	94,4	27,9	11,3	6,17	2,05	0,647	1,43	1,56	4,02

Javaés - Barreira da Cruz

Série: 1969 a 1998	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	2093	2594	3220	4000	3567	1559	712	373	196	88	312	1470
Média	710	1362	1832	1912	1362	501	177	70,8	33,5	27	59,2	241
Mínima	62	137	268	419	200	55	13,5	8,65	1,78	2,8	2,21	20,3

Tabela 4 – Vazões médias, médias mensais e máximas dos tributários do rio Araguaia que possuem estações fluviométricas.

6. Discussão dos dados

Como acontece no curso principal, o regime hídrico dos tributários está relacionado com as precipitações da região, o período úmido está associado aos meses de novembro a abril, enquanto o período de estiagem corresponde aos meses de maio a outubro (Tabela 3). Os máximos picos de cheias se apresentam de janeiro a março, enquanto as mais baixas descargas se apresentam a partir de agosto a novembro fato associado tanto aos tributários de margem direita como aos que deságuam pela margem esquerda (Tabela 4).

Os valores referentes às vazões desses tributários foram relacionados com a regionalização geológica apresentada no sub-item 3, que leva em consideração as unidades geológicas na qual está inserida cada afluente, no entanto, apesar de a bacia cortar diferentes unidades não se nota a reação da descarga em função dos relevos e litologias nas quais transcorrem os tributários, sendo a variação de vazão imposta mais pelo clima predominante na bacia. Porém, é evidente que a grande variabilidade entre picos máximos e mínimos que alguns afluentes apresentam estão estabelecidas pela ocorrência das estações em zonas de cabeceiras de rápida reação precipitação/escoamento, por representar uma pequena área de drenagem e em zonas constituídas por colinas e morros desenvolvidos sobre rochas do embasamento cristalino pré-cambriano ou relacionados a amplas zonas de erosão recuante (ZERS) da bacia do Paraná (Latrubesse e Carvalho, 2006).

6.1. Estimativa de Vazão Média Anual para os Tributários do Araguaia

Embora fossem identificadas 51 sub-bacias a maioria dos tributários não possui estações hidrológicas, não sendo possível analisar seus respectivos regimes hidrológicos.

A análise dos tributários, portanto, somente se concentrou em algumas bacias onde existem dados hidrométricos. Apesar de neste estudo serem considerados os dados existentes de 11 estações fluviométricas, em nenhum caso as estações são representativas da totalidade da área de drenagem da sub-bacia correspondente, devido ao fato de as estações não estarem inseridas na foz do afluente. Portanto, também resulta desconhecido um dado de significativa importância, o aporte líquido dos principais tributários ao sistema coletor do Araguaia.

A partir disso, com o intuito de subsidiar a falta de informações a respeito dos tributários, foi elaborada com os dados existentes de área de drenagem e vazão média dos 11 afluentes que possuem estações hidrológicas, curvas de área de drenagem x vazão, obtendo-se assim, por correlação uma equação de potência de validade regional.

Em termos gerais, os valores de vazões crescem com o aumento da área de drenagem podendo ser elaborada uma relação, onde a vazão é expressa como uma função da área de drenagem. A obtenção das curvas de área de drenagem vs. vazão podem ser de grande utilidade no planejamento ambiental e, especialmente, relacionada para avaliação com os riscos de enchentes (Dunne e Leopold, 1998).

Os dados de vazão média anual das 11 estações (Tabela 5) foram plotados com a área de drenagem correspondente (Figura 4), mostrando uma tendência a aumento de vazão à medida que aumenta a área de drenagem. O expoente próximo a 1 indica que a vazão média anual se incrementa em proporção direta à área de drenagem.

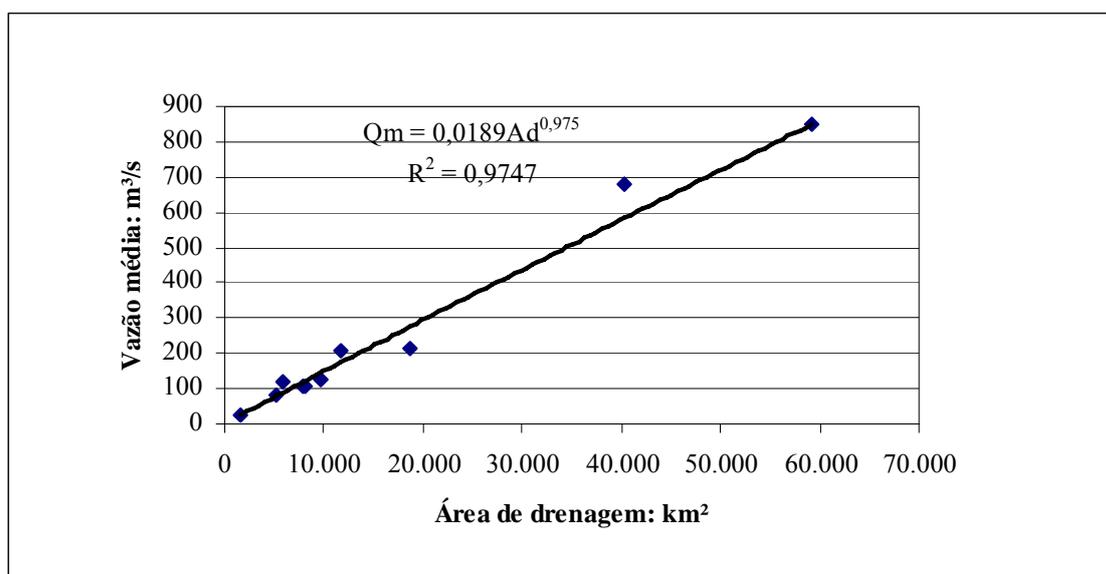


Figura 4: Área de drenagem x Vazão média da série de 11 tributários do rio Araguaia que possuem estações hidrológicas.

A Figura 4 demonstra que a confiabilidade da equação que relaciona a vazão com a área de drenagem é alta ($r^2=0,9747$). A partir desta equação foi possível estimar com alto índice de confiabilidade a vazão média dos tributários introduzindo na equação a área de drenagem para cada sub-bacia.

Para o cálculo da área de drenagem foi utilizada a rede de drenagem da bacia do Araguaia disponível no LABOGEF (Lab. de Geologia e Geografia Física da UFG) em

formato digital no SIG Spring. As sub-bacias foram delimitadas no SIG e suas respectivas áreas foram obtidas automaticamente.

Com os dados de área de drenagem estimados e utilizando a equação de relação Ad vs. Q, foram obtidos os valores de vazão média para cada afluente que constitui a bacia principal por meio da equação de correlação: $Q_m = 0,0189Ad^{0,975}$

Onde: Q_m = vazão média anual (m^3/s); Ad = área de drenagem (km^2)

Os valores de vazões médias anuais estimados para cada sub-bacia encontram-se na Tabela 5. E, a representação gráfica da bacia Araguaia com todas as suas sub-bacias identificadas são mostradas na Figura 6.

Margem Direita	A.Drenagem	Vaz. Média(m³/s)
Alto Araguaia		
Sist.Princ.e vár.Aflus	15370,7	228,29
Peixes	5646,80	85,99
Corde	506,65	70,36
Médio Araguaia		
Rib. Inhamirim	1933,94	16,65
Caiapó	12607,83	189,50
Marinho	4907,83	179,03
Claro	11978,03	179,03
Barreiro	704,03	11,29
Vermelo	14268,84	212,32
Total	204635,36	3078,36
Javaés	22960,50	337,61
Crixas-Açu	23682,38	347,96
Peixe	12439,91	185,74
7	6333,24	96,17
Rib.Sao Domingo	1124,18	17,82
Formoso	6971,69	105,61
8-A	5192,46	79,24
8-C	3421,93	52,77
8-B	4465,78	68,41
8-D	4996,13	76,32
Coco	8377,02	126,32
Caiapo II	5334,61	81,36
Piranhas II	6072,69	92,31
12	3979,35	61,13
13	1857,45	29,08
Baixo Araguaia		
14	1323,38	20,90
15	3277,08	50,59
Jenipapo	1837,17	28,77
Muricizal	3405,44	52,52
Lontra	4415,14	67,65
18	3587,00	55,25

Margem Esquerda	A.Drenagem(km²)	Vaz.Média(m³/s)
Alto Araguaia		
Garças	13778,09	205,20
Diamantino	3892,48	59,8
Médio Araguaia		
das Mortes	59792,94	858,41
Cristalino	13383,42	199,46
Varios Afluentes	4695,60	71,84
III	7114,76	107,73
Tapirapê	16522,77	244,96
V	666,45	10,71
VI	4918,76	75,17
VII	2327,33	36,24
VIII e IX	5531,63	84,28
X	6424,70	97,53
XI, XII, XIII e XIV	11116,75	166,45
Baixo Araguaia		
XV e XVI	7450,89	112,68
Pau d'Arco	7719,50	116,64
Rib. das Andorinhas	4872,60	74,48
Rib.Agua Fria	2527,94	39,28
Itaipava	547,12	8,83
Xambioa e peq.afluentes	3953,50	63,51
Gameleira e peq.afluentes	2126,65	33,19
Total	179363,88	2666,42

Tabela 5: Valores de vazões médias estimadas em função da área de drenagem correspondente a cada tributário

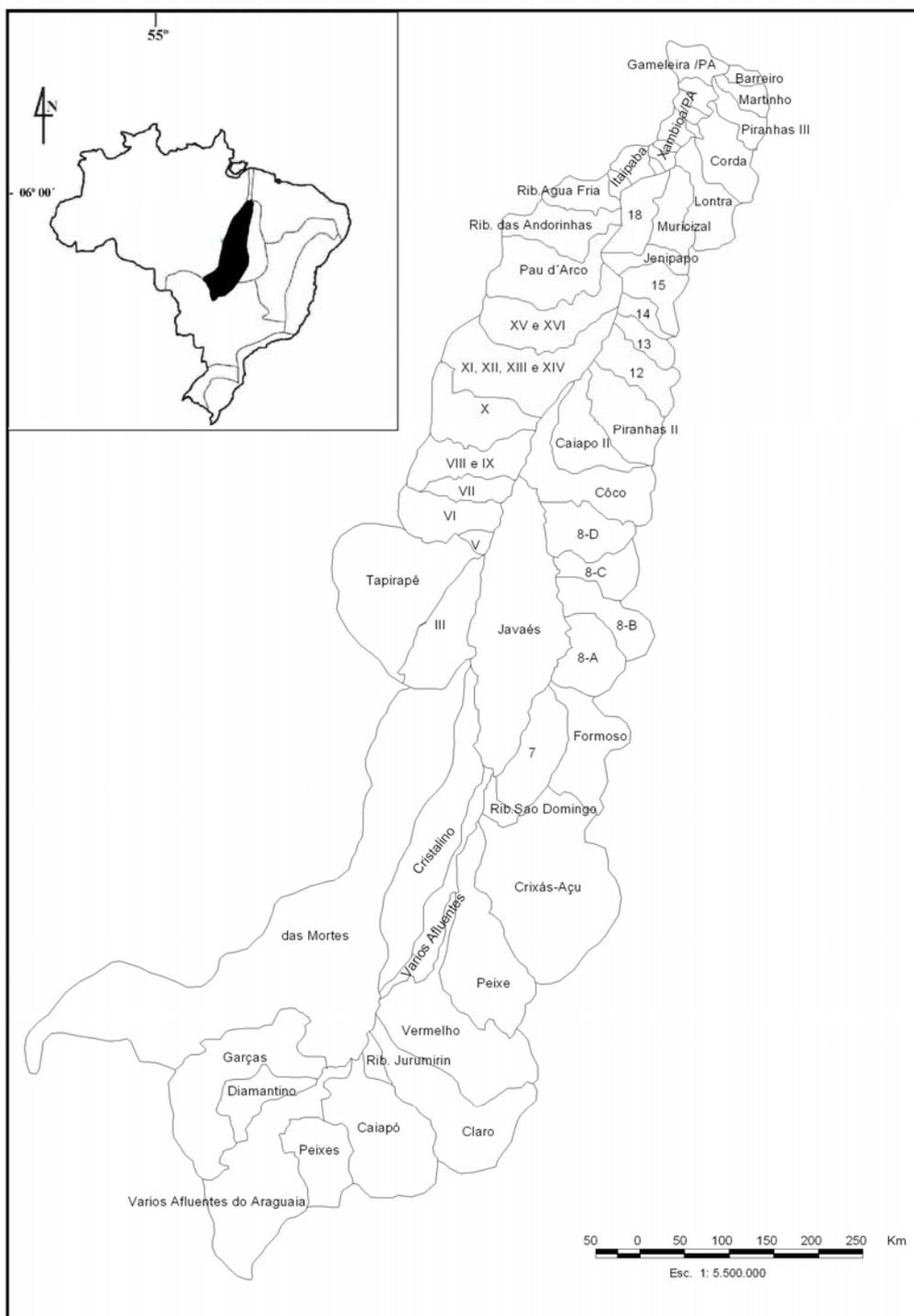


Figura 6: Área de drenagem das sub-bacias do Araguaia

No caso das denominadas sub-bacias Xambioá e pequenos afluentes, as quais englobam diversas bacias menores, o valor representa a somatória de todos os valores obtidos para cada bacia individualmente.

Através desses cálculos encontraram-se resultados de que os aportes na alta bacia são mais significativos pela margem esquerda, mas em total representam a ordem de aproximadamente 600 m³/s, o qual representa 10,3% do fluxo da bacia, enquanto, no médio curso a incidência dos afluentes é muito mais significativa, correspondendo a uma descarga de 4.307,5m³/s, contribuindo com 74,3% da descarga total. Já o baixo curso aporta vazão média de 858,2, constituindo-se em 14,8% do valor total da descarga.

A respeito da entrada por margens, os afluentes da margem esquerda contribuem com 194.734 km² e 2.984,7 m³/s enquanto os da margem direita aportam 2.850 m³/s drenando uma totalidade de 189.264 km².

No médio curso, os tributários que entram por margem direita equivalem a 157.138,45 km² de área de drenagem e 2.354,35 m³/s de vazão, e os que entram por margem esquerda representam 132.495,11 km² e 1952,78 m³/s de vazão média.

O baixo curso é constituído por sub-bacias menores que as do setor de médio curso, e representam 26.480 km² e 409,65 m³/s por margem direita, e 29.198 km², com 448,62 m³/s de vazão média.

A Figura 7 mostra as somatórias da entrada dos tributários por margem direita e esquerda no alto, médio e baixo Araguaia, com seus respectivos valores estimados de vazão média anual. Quando realizada a comparação de entradas e saídas nos segmentos em direção à jusante, entre as estações dos segmentos sucessivos no Araguaia, pode se verificar que as estimativas apresentadas para os tributários sugerem valores precisos em relação às variações/incrementos entre as estações hidrológicas do rio Araguaia.

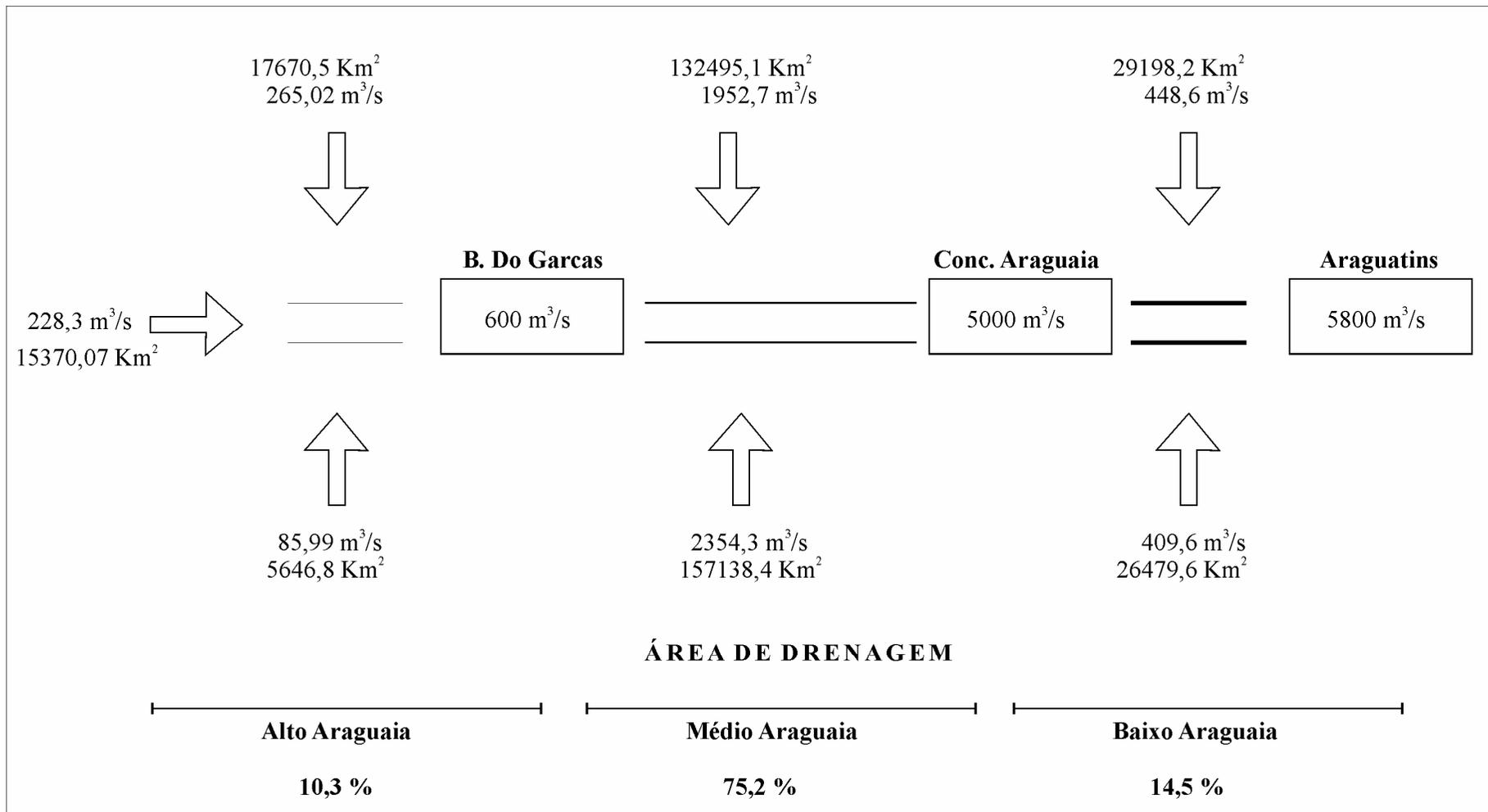


Figura 7: Aportes de vazão média das margens esquerda e direita no Alto, Médio e Baixo setor, e quanto contribuem, em porcentagem, na bacia do rio Araguaia

Considerações Finais

Neste artigo foi apresentado um conjunto de informações hidrológicas sobre a bacia do rio Araguaia, com a finalidade de complementar as informações já existentes, visto que, até o momento não existia uma análise sobre o comportamento hidrológico dos principais afluentes da bacia, e de quanto, em relação a fluxo de água, esses tributários aportam ao canal principal.

Foi analisada uma série de 11 estações fluviométricas dos afluentes da bacia Araguaia e dados das principais estações do rio Araguaia.

Descreveram-se também, as características geológicas e geomorfológicas da sub-bacias, agrupadas em:

* Bacias do Alto Araguaia:

- Drenam predominantemente rochas da bacia do Paraná, relevos tabuliformes, zonas de erosão recuantes e a superfície regional de aplainamento III-C.

* Bacias do Médio Araguaia:

- Drenam relevos de morros e colinas e a superfície Regional de Aplainamento IV-C, desenvolvidas sobre rochas do escudo pré-cambriano;

- Drenam uma planície ligeiramente dissecada de sedimentos do Cenozóico tardio.

* Bacias do Baixo Araguaia:

- Drenam predominantemente antigas superfícies de aplainamento e relevos com colinas em rochas pré-cambrianas do embasamento, embora rochas mesozóicas e paleozóicas também afloram nesta área.

Da análise se determina que o principal condicionante do regime hidrológico é o clima, já que não se detectaram significativas variações no regime hidrológico dos rios, independentemente da unidade geomorfológica-geológica que estivesse drenando.

Os dados hidrológicos de 11 tributários que possuem estações hidrológicas serviram de base para o processamento e análise do regime hidrológico de outros tributários da bacia. A obtenção de uma curva de validade regional área de drenagem x vazão permitiu a obtenção de um dado até hoje desconhecido e de significativa importância para o planejamento de recursos hídricos e manejo de bacias: os aportes líquidos médios anuais de cada tributário na bacia do Araguaia em proporção aos valores registrados na estação em Araguatins, onde a vazão média anual da série histórica estudada foi de aproximadamente 6000 m³/s.

A Alta bacia com uma representatividade de 10,3 % da área de drenagem contribui com 9,8% das descargas líquidas. O meio Araguaia, representa um área de drenagem de 75,2% a respeito do total contribui com 71%. E, o baixo Araguaia representa 14,5% da bacia e contribui com 14,22 % de vazão.

O erro indica um defeito de vazão da ordem de aproximadamente 5%. Tendo em conta a alta probabilidade da curva, é possível que parte dos erros sejam próprios da determinação da área de drenagem, mas também, possivelmente é devido aos aportes sub-superficiais de recarga da planície aluvial e talvez alguma pequena contribuição da Planície do Bananal ao sistema fluvial.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, ao Nupelia e Gema/UEM, ao Labogef/UFG e ao Serviço Geológico do Brasil e Agência Nacional de Águas, pelo fornecimento de dados hidrológicos. Este trabalho é uma contribuição da Rede CABAH XII K CYTED/CNPq e Projeto: Land Use Impacts on the Water Resources of the Cerrado Biome subsidiado por NASA/LULCC.

Bibliografia

- AGMA, AGETOP, WWF e IMAGEM. 2004. PDIAP - Projeto de Identificação de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás. Goiânia: AGMA. [Formato digital].
- Arruda, M., Dias, A. Latrubesse, E.M. Galinki, M. 2000. Projeto Corredor Ecológico Bananal/Araguaia. Ibama: Publicação especial. 120 p.
- Aquino, S, Stevaux, J.C. e Latrubesse, E. 2005. Características Hidrológicas e Aspectos morfo-hidráulicos do Rio Araguaia, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7 (1), 99-111.
- Bayer, M. 2002. Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho. Dissertação de Mestrado. Goiânia: UFG-IESA. 138p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Primeiro relatório nacional para a convenção

sobre diversidade biológica - Brasil. Serviços do ponto focal brasileiro do mecanismo de informação da convenção sobre diversidade biológica. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sbf/chm/relato.html>. Acesso em: 03 de abril 2003.

- Carvalho, T.M.; Latrubesse, E.M. 2004. Aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDT) em Análises Macrogeomorfológicas: O caso da Bacia Hidrográfica do Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.5, n.1, p.85-93.
- Castro, S.S., Borges de Campo, A., Oliveira, C. J. e Silva, A. 1999. The upper Araguaia basin and the effects of human-induced erosion. - *Boletim Goiano de Geografia* 19 (1): 128-139.
- Castro, S.S.; Xavier, L.S.; Barbalho, M.G.S. 2004. Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, Goiânia. 75p.
- Dunne T. Leopold, L.B. 1998. *Water and environmental planning*. W.H.Freeman and Company, New York. 818p.
- França, A. M. Ordenamento geomorfológicos dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Araguaia. 2002. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2002. 49p.
- França, A. M.; Latrubesse, E. M. 2001. Ordenamento dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Araguaia: uma proposta preliminar. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada, 9.; 2001, Recife. Anais. Recife: UFPE, 2001. p. 108-109.
- Latrubesse, E., e Carvalho, T.M. 2006. *Geomorfología do Estado de Goiás*. Superintendencia de Geología e Mineração do Estado de Goiás, 143p, Goiânia, Brasil.
- Latrubesse, E.; Stevaux, J.C.; Sinha, R. Tropical Rivers. *Geomorphology*, 70, 187-206, 2005.
- Latrubesse, E. e Stevaux, J. C. 2002. Geomorphology and Environmental Aspects of Araguaia Fluvial Basin, Brazil. In: *Z. Geomorphologie*. Berlim: Suppl.-Bd. 129,. 109-127.
- Latrubesse, E.M. e Aquino, S. 2006. The Araguaia River Field Trip: Geomorphology, Hydrology and Environmental Impacts, *International Regional Conference on Geomorphology-International Association of Geomorphologists*, UFG, Goiania, Brazil, 28p.
- Latrubesse, E.M. e Carvalho, T. Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. Superintendência de Geologia e Mineração, Estado de Goiás. 127p.
- Marinho, G.V. Castro,S.S., Campos, A.B. 2006. Hydrology and gully processes in the upper Araguaia River Basin, Central Brazil, *Zeitschrift fur Geomorphologie* 145,119-145.

- Morais, R. P. 2002. Mudanças Históricas na Morfologia do Canal do Rio Araguaia no trecho entre a Cidade de Barra do Garças (MT) até a foz do Rio Cristalino na Ilha do Bananal no Período entre as Décadas de 60 e 90. Dissertação de Mestrado. Goiânia: Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Sócio-ambientais. 176p.
- Morais, R.P. 2006. A Planície Aluvial do Médio rio Araguaia: Processos Geomorfológicos e Suas Implicações Ambientais. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) Instituto de Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 135p.
- Morais, R.P.; Oliveira, L.G.; Latrubesse, E.M.; Pinheiro, R.C. 2005. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. *Acta Scientiarum. Biol., Sci.* V.27, 203-213p.
- SGM – Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás. 2006. Caracterização Climática do Estado de Goiás. Por: Silva S.C., Santana N.M.P. e Pelegrini J.C. Secretaria de Industria e Comércio.
- Souza, I.F. 2002. Compartimentação da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do rio Araguaia. Monografia (Bacharelado em Geografia) Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO. 110p.
- Vieira, P.A. (2002). Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal. Dissertação de Mestrado. Goiânia: Universidade Federal de Goiás/IESA. 124p.
- Werneck Lima, J.E.F., Dos Santos, P.M.C, Carvalho, N.O., da Silva, E.M. 2003. Araguaia-Tocantins: Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia. Brasília: *Embrapa*, ANEEL, ANA. 116p.

O Regime Hidrológico do Rio Araguaia: Sua Caracterização, Importância e Particularidades para a Manutenção dos Principais Ecossistemas aquáticos do Brasil Central

Resumo

O Rio Araguaia possui uma área de drenagem de aproximadamente 380.000km², uma descarga média anual de 6000m³/s e se constitui no principal sistema fluvial que transcorre sobre o Brasil central. Estudos geomorfológicos sobre a bacia do Araguaia são escassos. Neste artigo são apresentadas algumas observações sobre o comportamento hidrogeomorfológico deste sistema fluvial e suas aplicações no estudo de ecossistemas aquáticos. O estudo foi realizado através do processamento de dados de vazão média diária, média mensal e média anual de uma série histórica de 35 anos de registro (1970 a 2004), em nove estações hidrológicas, envolvendo o alto, médio e baixo cursos.

O regime hidrológico do Araguaia é dependente do clima quente/semi-úmido característico da região. Os picos de cheias se definem entre os meses de janeiro a maio, enquanto o período de decréscimo das descargas acontece entre junho e setembro. No alto e baixo cursos ocorre uma intensa variabilidade entre fluxos máximos e mínimos, enquanto no médio curso as vazões são amortecidas pela planície aluvial. De forma geral, o regime hidrológico do Araguaia é relativamente simples, observa-se, contudo, uma distribuição atípica de vazões à medida que flui a jusante nas cheias extremas, quando o rio perde até 30% de sua vazão, embora faltam informações precisas do input de tributários neste setor, ou seja que as perdas podem ser substancialmente maiores.

Foram definidas três tipos de enchentes, identificando também, dois mecanismos particulares de armazenamento e transferência de fluxos que expliquem as perdas de fluxos no médio curso. Três são os principais fatores condicionantes da perda de vazão: a) a existência de uma planície aluvial bem desenvolvida composta por várias unidades geomorfológicas, b) a existência de um complexo sistema de lagos na planície aluvial, c) uma vegetação predominantemente arbórea sobre que freia a onda de cheia e contribui para o armazenamento de água na planície aluvial.

Os resultados demonstram que a constituição geomorfológica particular da bacia e a distribuição e arquitetura da planície aluvial produz efeitos característicos na hidrologia do sistema e confirma que o regime hidrológico do rio Araguaia se comporta diferenciadamente no alto, médio e baixo curso. Assim mesmo sustentam a importância do entendimento de um modelo de conectividade em sistemas fluviais baseado em grande parte na utilização de dados hidrogeomorfológicos.

Abstract

With drainage area of 380,000 km² and a mean annual discharge of 6,000 m³/s the Araguaia Rivers is the most important fluvial system draining the Cerrado biome of Brazil. New results about the behavior hydro-geomorphologic this fluvial system and its effect on the floodplain ecosystems are presented. Mean daily discharge, mean discharge and mean annual discharge from nine gauge stations in of the Araguaia River (1970 a 2004) were analyzed.

In general terms, the hydrologic regime depends of the dominant climate (tropical wet-dry) with floods from January to May (rain period) and low water between June and September. The peaks of maximum discharge are smoothed because the occurrence of secondary peaks. In the upper and lower courses there is a high variation between maximum and minimum peaks because the under developing of the floodplain, while in the medium course the flow peaks are smoothed by the presence of a well developed river floodplain. In general, the hydrological regime of the Araguaia River is simple. However, doing more detailed analyses, the river presents an atypical distribution of flood discharge in the middle reach. In this area the river can loss up to 30% of water discharge which are stored in the floodplain. However this values is the minimum estimation because at this reach the Araguaia receive large tributaries. The water input of the tributaries during floods was not computed because the non existence of hydrological data at the tributaries mouth.

Three types of flood categories were defined and two mechanisms of flow storage and transference explaining discharge loss in the middle curse were identified. Three man mechanisms produce the water lost in the middle reach: the sponge effect of the alluvial plain, the existence of a well develop mosaic of lakes and an arboreal dominated vegetation stratum of alluvial forest.

The geomorphologic characteristics of the floodplain produce effects in the hydrology of the system and confirm that the understanding of a model of connectivity need to be strongly sustained by the using of hydro-geomorphologic data. The floods major role in sustaining a complex mosaic of floodplain environments and their effects on the aquatic ecosystems has progressively become clearer.

Palavras Chaves: Rio Araguaia, Comportamento hidrológico, Enchente, Planície fluvial, ecologia fluvial

Key words: Araguaia River, hydrologic behavior, floods, alluvial plain, fluvial ecology

1. Introdução

A bacia do Tocantins é considerada a quarta maior bacia de drenagem da América do Sul, estendendo-se por aproximadamente 800.000 km², engloba parte de dois grande biomas sul-americanos: a floresta Amazônica ao Norte e o Cerrado brasileiro ao Sul. É formada principalmente por dois grandes sistemas fluviais: O Tocantins e o Araguaia.

Atualmente, na Região Centro-Oeste, a bacia do rio Araguaia é foco de amplas discussões políticas, sociais e científicas, devido ao intensivo desmatamento do Cerrado e à expansão de atividades agrícolas na área durante as últimas quatro décadas, com destaque à necessidade de projetos para planejamento de melhor utilização dos recursos existentes. Dos 200.000 km² originais que conformavam o Cerrado, mais de 60% tem sido destruído e fragmentado pelo desmatamento e expansão da fronteira agrícola e pecuária. Nenhum outro Bioma no mundo tem sido destruído tão rápido e em tão grande extensão na história da humanidade.

Dentro deste cenário de mudanças dramáticas, o rio Araguaia é a principal artéria fluvial do Cerrado a qual mantém os mais importantes sistemas de áreas úmidas (*wetlands*) do Brasil e uma fascinante biodiversidade (Arruda et al 2000). A planície aluvial do Rio Araguaia e os seus ecossistemas aquáticos são a última fronteira para conservação do Cerrado dentro deste panorama de destruição.

A heterogeneidade espaço-temporal nas planícies aluviais faz com que os ecossistemas transformem-se em ambientes de grande riqueza de espécies. A dinâmica fluvial gerada pela inundação exerce importância fundamental na manutenção da diversidade de tipos de habitats lânticos, lóticos e semi-aquáticos, cada qual representado por uma diversidade de estágios sucessionais (Ward e Stanford, 1995). Já do ponto de vista ecológico, os eventos de cheia podem homogeneizar os ambientes e conectá-los (Thomaz et al. 1997). Os extremos mínimos, por outro lado, apresentam pouca atividade em relação a geomorfologia do canal, porém pode ser fator limitante para as espécies que necessitam da manutenção de água nos ambientes lânticos do ecossistema rio-planície de inundação.

Durante as últimas décadas a alteração e regulação dos fluxos de águas, sedimentos e nutrientes devido à construção de represas, desmatamento e mudanças no uso da terra, canalizações e outras obras de intervenção direta nos canais têm afetado o funcionamento ecológico, hidrológico e geomorfológico das planícies fluviais.

Ecólogos de ambientes aquáticos admitem a importância de se conhecer com maior detalhe e em forma multidisciplinar o regime hidrológico dos sistemas fluviais a ponto de sugerir que o estudo do regime de fluxo de um sistema fluvial natural poderia se considerar um novo paradigma para a conservação e restauração de sistemas fluviais (Poff, et al.1997). Atualmente, é entendido que, um dos principais objetivos da ecologia fluvial aplicada é desenvolver normas de manejo de regimes com a finalidade de que se possam manter níveis desejáveis das funções ecológicas do sistema fluvial (Richter et. al., 1997, 2003, Poff et al., 2003, 2006).

Porém, em muitos destes enfoques o papel das interações hidro-geomorfológicas do sistema rio-planície na transmissão e armazenamento de fluxos é negligenciada ou subestimada por meio de generalizações. Quando se tem em conta a diversidade de padrões de canais existentes nos grandes sistemas tropicais (Latrubesse et al, 2005), na concepção de teorias como o flood pulse de Junk et al. (1989) a planície aluvial parece ser um elemento passivo às interações biótico-hidrológicas.

Padrões espaciais de vegetação na planície aluvial também estão em relação de dependência com as variáveis de hidrologia e geomorfologia como foi demonstrado em diversos sistemas da bacia do rio Amazonas (Mertes et al. 1995, Kalliola et al. 1992) assim como, a dinâmica hidrogeoquímica, que também é dependente da transmissão da onda de cheias (Richey et al., 1989).

Richey et al. (1989) em estudos realizados no rio Amazonas, estima que as trocas de água entre a planície de inundação e o canal principal são significantes sendo que mais de 30% da descarga no canal é derivada da água que passa através da planície de inundação. Em suma, as planícies de inundação são importantes componentes de bacias de drenagem, pois armazenam sedimentos, retardam ondas de fluxos de enchentes e servem como um substrato para processos químicos e biológicos, ou seja, pulsos de água e sedimentos que cobrem a planície durante as enchentes têm influência direta sobre a bioquímica e geomorfologia de rios e planícies de inundação.

No Brasil, a situação é bastante complexa, pois, o entendimento básico do regime hidrológico e da dinâmica geomorfológica de muitos sistemas fluviais é quase desconhecido, o que não aporta uma base conceitual hidrogeomorfológica sólida que possa sustentar uma aplicação no campo da ecologia.

Por exemplo, pesquisas relacionadas às características hidrológicas e geomorfológicas na bacia do Araguaia tem sido escassas, sendo que, este sistema é considerado uma área prioritária para a conservação da biodiversidade aquática do

Cerrado. Sobre aspectos hidrológicos, por exemplo, contava-se apenas com alguns relatórios técnicos do Serviço Geológico do Brasil-CPRM e da Agência Nacional de Águas-ANA, com ênfase em medidas quantitativas de fluxos de águas e insuficientes medições sedimentométricas.

Recentemente, estudos sobre o sistema fluvial do Araguaia, estão sendo abordados sob diferentes focos de análises, principalmente sob a ótica da hidrogeomorfologia fluvial e da limnologia, na Universidade Federal de Goiás, e novos resultados têm sido obtidos por, Aquino et al., (2005), Bayer (2002), Latrubesse e Stevaux (2002), Morais (2002, 2006), Werneck, et.al. (2003).

O entendimento do funcionamento hidrológico do Rio Araguaia dentro de uma conceituação da Ecologia é uma necessidade que foi identificada no Projeto Corredor Ecológico Bananal-Araguaia onde se remarca que a implementação do projeto demanda uma grande produção de conhecimentos, com pesquisas de dados primários, e que resulta necessário realizar um estudo hidrológico da bacia com aplicações no campo da ecologia de ambientes aquáticos (Arruda et. al., 2000).

A intenção deste artigo é aportar dados sobre caracterização do regime fluvial com a finalidade de oferecer subsídios dentro do marco conceitual da ecologia de sistemas fluviais descrito acima, e das necessidades que a bacia do Araguaia tem para um manejo sustentável.

Aqui se caracteriza o atual funcionamento hidrológico do rio Araguaia com ênfase na dinâmica das cheias, mostrando a distribuição das vazões para todo curso fluvial e relacionando estas informações com características geomorfológicas dos três setores do rio. Para o enfoque ecológico se têm em consideração cinco variáveis principais: magnitude, frequência, duração, preditibilidade e taxa de mudança (Poof et. al.,1997). Estas variáveis são quase as mesmas que se utilizam para medir a conectividade entre processos hidrológicos e geomorfológicos em planícies aluviais complexas (Neiff et al., 2005).

Ao contrário de muitos dos exemplos oferecidos na literatura sobre o Hemisfério Norte, os quais levam em consideração a redução dos picos de cheias, alteração na distribuição na permanência de fluxos, alteração na recorrência das cheias e alteração das vazões efetivas de um sistema por ação antrópica, no caso do Araguaia, a falta de obras de infraestrutura e intervenções de engenharia diretas no canal fazem com que as variáveis acima mencionadas seja úteis para caracterizar o regime hidrológico “natural”

do sistema, apesar dos impactos de mudanças de uso da terra e desmatamento que tem sofrido a bacia.

Embora, tenham sido detectadas profundas mudanças no transporte de sedimentos e nos processos geomorfológicos que modelam a planície aluvial (Latrubesse e Stevaux 2002; Morais, 2006), as curtas séries históricas disponíveis para as estações hidrológicas do Araguaia dificultam para se poderem estimar pequenas mudanças ou tendências no regime hidrológico durante as últimas três décadas.

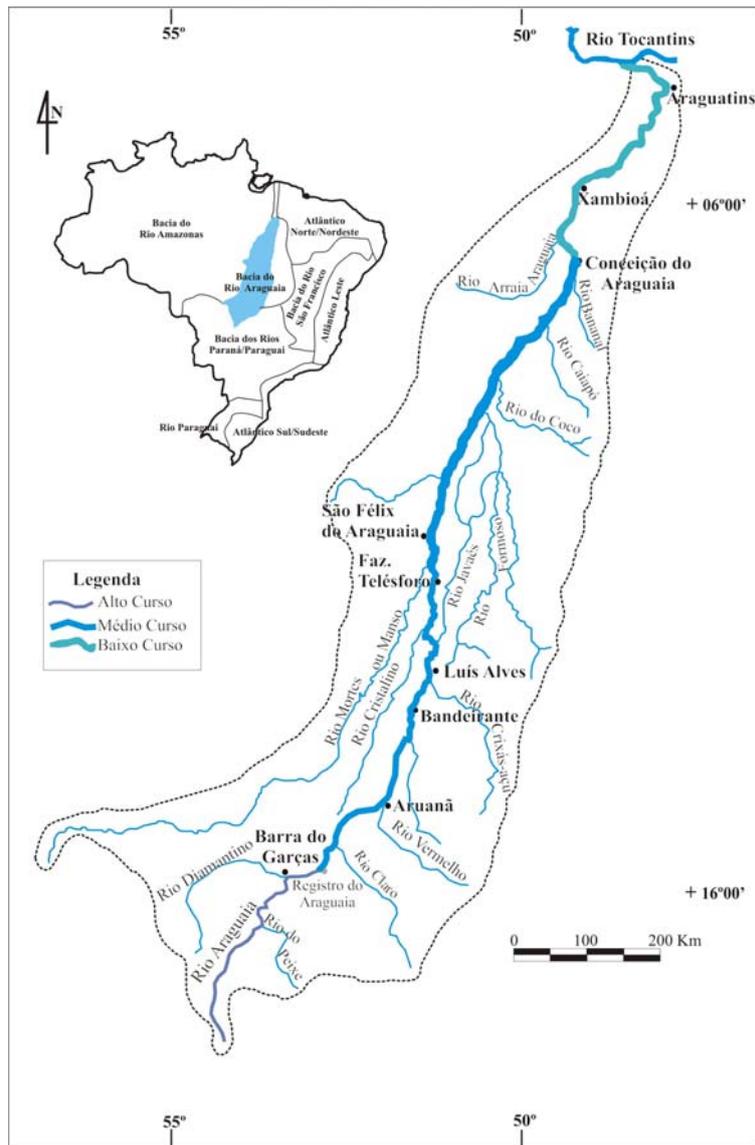
2. Área de Estudo - Características Gerais

O rio Araguaia nasce a 850 m de altitude na serra dos Caiapós, na divisa entre os Estados de Mato Grosso e Goiás, e deságua no rio Tocantins a cerca de 90 m de altitude, na divisa entre os Estados de Tocantins, Maranhão e Pará. Possui uma área de drenagem de aproximadamente 380.000 km² e descarga média de 6.000 m³/s, na estação hidrológica de Araguatins.

Seu perfil longitudinal pode ser dividido em três segmentos denominados por Latrubesse e Stevaux (2002) como Alto, Médio e Baixo Araguaia (Figura 1). O Alto Araguaia compreende o segmento com cerca de 450 km de extensão, situado entre a nascente e a cidade de Registro do Araguaia, e drena uma área de 36.400 km². Nesse intervalo, o rio corre encaixado sobre embasamento cristalino composto por rochas pré-cambrianas e sedimentos paleozóicos da Bacia do Paraná. A bacia de drenagem é formada por paisagens mais abruptas com elevações de até 1.000m.

O médio curso estende-se por 1.600 km desde de Registro do Araguaia até Conceição do Araguaia (Figura 1), e abriga uma grande extensão de planície aluvial. Neste intervalo a área de drenagem aumenta drasticamente, alcançando mais de 300.000 km².

Nesse segmento, o canal possui baixa sinuosidade e baixo índice de entrelaçamento, com um canal principal e não mais que um ou dois braços. Em alguns trechos o canal é único e pode desenvolver meandros. As principais feições aluviais são as ilhas e os bancos de areia, dentre as ilhas, a de maior destaque é a Ilha do Bananal, a maior área insular fluvial da Terra. (Latrubesse e Stevaux, 2002).



Fonte: LABOGEF

Figura 1: Bacia do Rio Araguaia e estações fluviométricas.

Na área superior do médio Araguaia, o rio corta blocos tectônicos de rochas pré-cambrianas (Latrubesse e Stevaux, 2002), embora esteja ladeado por áreas inundáveis. Passa a correr sobre terras baixas da planície do Bananal, e recebe as águas do rio Cristalino e do rio das Mortes, seu principal afluente.

Para Latrubesse e Stevaux (2002), a planície aluvial do médio Araguaia é um complexo mosaico de unidades morfo-sedimentares formadas por sedimentos do Holoceno e do Pleistoceno tardio. Nela distinguem-se três tipos de unidades geomorfológicas: a) planície de inundação de escoamento impedido b) unidade dominada por paleomeandros e c) planícies de barras e ilhas acrescidas.

Entre a cidade de Barra do Garças (MT) e a confluência do rio Cristalino com o Araguaia, próximo a Ilha do Bananal, inseridos entre o alto e médio Araguaia, o canal

está dividido em 10 segmentos, constituídos em função dos lineamentos geológicos e com base na divisão estrutural de alto e médio curso (Morais, 2006) (Figura 2).

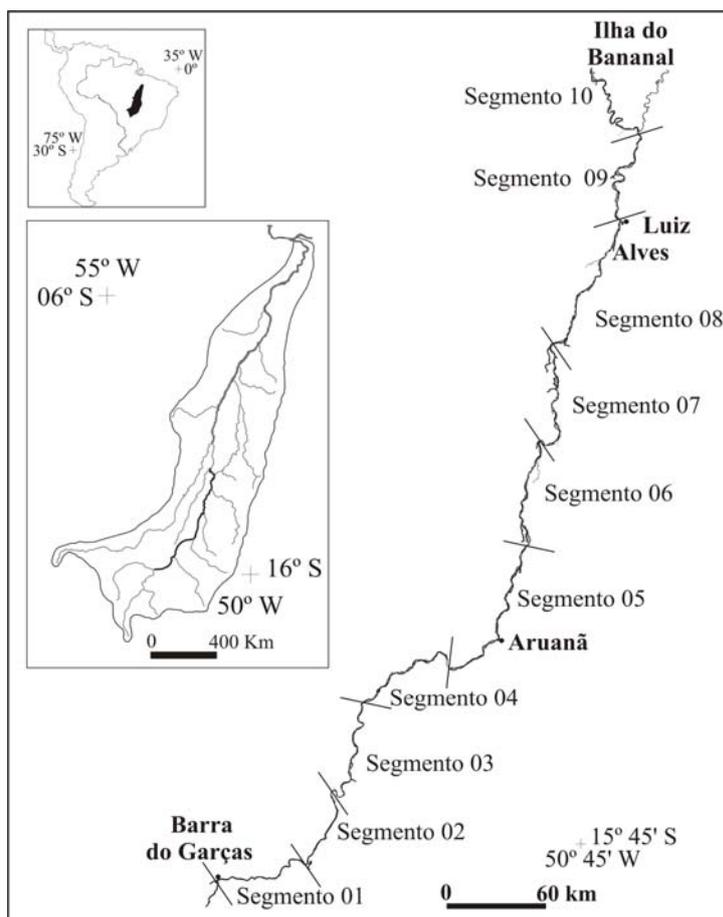


Figura 2: Localização dos segmentos inseridos no médio curso do canal do rio Araguaia, entre Barra do Garças e Luiz Alves. Fonte: Morais (2006).

O baixo Araguaia compreende a extensão fluvial situada à jusante de Conceição do Araguaia até sua confluência com o rio Tocantins (Figura 1). Inicia-se depois da planície do Bananal, quando a planície aluvial do rio praticamente desaparece e o rio entra em área de rochas cristalinas pré-cambrianas com extensão de aproximadamente 500 km até a confluência com o rio Tocantins.

As condições climáticas que predominam na bacia Araguaia são de natureza continental tropical, porque devido à sua posição no continente não sofre o efeito direto da confluência intertropical. Apresenta-se semi-úmido com tendência a úmido, caracterizando-se segundo Koppen, no tipo Aw, de savanas tropicais, com 4 a 5 meses secos (SGM, 2006).

Durante o ano há duas estações bem acentuadas: a chuvosa e a seca, com um mês de transição nas passagens de uma para outra. O período mais chuvoso da bacia

compreende os meses de outubro a abril e o mais seco os meses de julho a agosto. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são mais chuvosos na parte central e sul da bacia, enquanto os meses de janeiro, fevereiro e março são mais chuvosos na região norte da bacia.

A distribuição espacial das chuvas é característica da zona de Cerrado, sendo que na região das nascentes a precipitação alcança 1500mm anual, na faixa correspondente ao médio Araguaia as precipitações diminuem no sentido oeste-leste, de 1850mm para 1000mm por ano, na parte mais norte da bacia, entrando em ambiente de transição para a bacia Amazônica, as precipitações aumentam consideravelmente, alcançando valores superiores a 2000mm.

3. Metodologia

A área de estudo considerada se estende do município de Barra do Garças (MT) a Araguatins (TO), próximo a sua foz, analisando uma série histórica hidrológica que compreende 35 anos de registro (de 1970 a 2004).

Foram utilizadas distintas variáveis, como: vazões diárias, média anual e máxima anual; cotas e áreas de drenagens, fornecidas pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil e ANA-Agência Nacional de Águas, englobando nove estações do rio Araguaia: Barra do Garças, Aruanã, Bandeirantes, Luiz Alves, Fazenda Telésforo, São Félix do Araguaia, Conceição do Araguaia, Xambioá e Araguatins (Figura 1). Algumas seções transversais e valores de cotas para a estação Aruanã foram coletados em campo.

As variáveis hidrológicas foram processadas através de programas computacionais específicos, como Excel e Hidro, possibilitando a obtenção de distintas correlações, particularizando nos diferentes setores do canal fluvial a dinâmica hidrológica do sistema.

4. Regime Hidrológico

A análise dos dados das estações fluviométricas estudadas permitiu a caracterização da distribuição anual e espacial da vazão no rio Araguaia, a obtenção da relação entre área de drenagem e a vazão de cada estação, relações de permanência e

freqüência de fluxos, e a identificação dos diversos tipos de enchente que caracterizam o médio Araguaia. Os resultados obtidos encontram-se a seguir.

4.1. Distribuição Anual e Espacial das Vazões do Rio Araguaia

O fluxo é a variável fundamental para comparar o regime de diferentes rios, assim como, avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos para estimar mudanças na seqüência de fluxos históricos e determinar os impactos da atividade humana (Gustard, 1996).

Mudanças na descarga através do tempo são representadas por um hidrograma que proporciona uma noção da variabilidade temporal das periodicidades anuais das estações secas e úmidas. Eles oferecem a primeira visão sobre a magnitude, freqüência, duração, predictibilidade (timing) e taxa de mudança (flashiness) do regime em relação ao tempo de registro. Os hidrogramas do rio Araguaia foram construídos a partir de vazões diárias, pois dessa forma não há um encobrimento dos resultados, refletindo os picos de máximos e mínimos e mostrando claramente a oscilação do regime hidrológico do sistema.

A vazão média anual, picos máximos e mínimos da série histórica considerada são mostrados na tabela 1. Os hidrogramas foram elaborados para todas as estações, no entanto, são apresentados somente alguns hidrogramas que representam cada setor do rio Araguaia, juntamente com hidrogramas construídos sobre uma base anual, representativos de um ano típico, proporcionando uma clara visualização das oscilações de descargas durante o ano (figuras 3 a 9).

Os picos de cheias do Araguaia acontecem nos meses de janeiro a maio, contudo no alto curso em alguns anos há variabilidades e acréscimos nos picos que começam no mês de dezembro. Os maiores picos geralmente acontecem entre janeiro e abril para o alto e médio curso, já os picos de cheias no baixo curso se dão a partir de março até maio, se constituindo num regime relativamente simples com uma temporada de cheia e outra de seca que está em conformidade com o clima da bacia, típico das áreas de ocorrência de cerrado, caracterizado por apresentar duas estações bem definidas: a chuvosa freqüentemente marcada nos meses de outubro a abril e a estação seca que começa a partir de maio até setembro. Também, se percebe que as três maiores cheias do período considerado ocorreram entre os anos de 1979, 1980 e 1983, enquanto os anos marcadamente secos ocorreram em 1975, 1984, 1987 e 1996.

Estação Hidrológica	Área de Drenagem km ²	Vazão Média Anual Qm (m ³ /s)	Vazão Máxima Qmax (m ³ /s)	Vazão Mínima Qmin (m ³ /s)	Coefic. Médio Variabilidade Qmax/Qmin
Barra do Garças	36.423	626	5625	101	16
Aruanã	76.964	1200	8374	182	13.6
Bandeirantes	92.638	1500	5863	203	12
Luiz Alves	117.580	1700	6059	243	10
Fazenda Telésforo	131.600	1488	5596	182	9.6
São Félix do Araguaia	193.923	2700	9126	440	9
Conceição do Araguaia	320.290	5280	30143	518	17
Xambioá	364.496	5700	35766	445	18
Araguatins	376.659	6029	36283	715	17

Tabela 1: Dados hidrológicos com coeficientes médios de variabilidade de vazões para o Rio Araguaia.

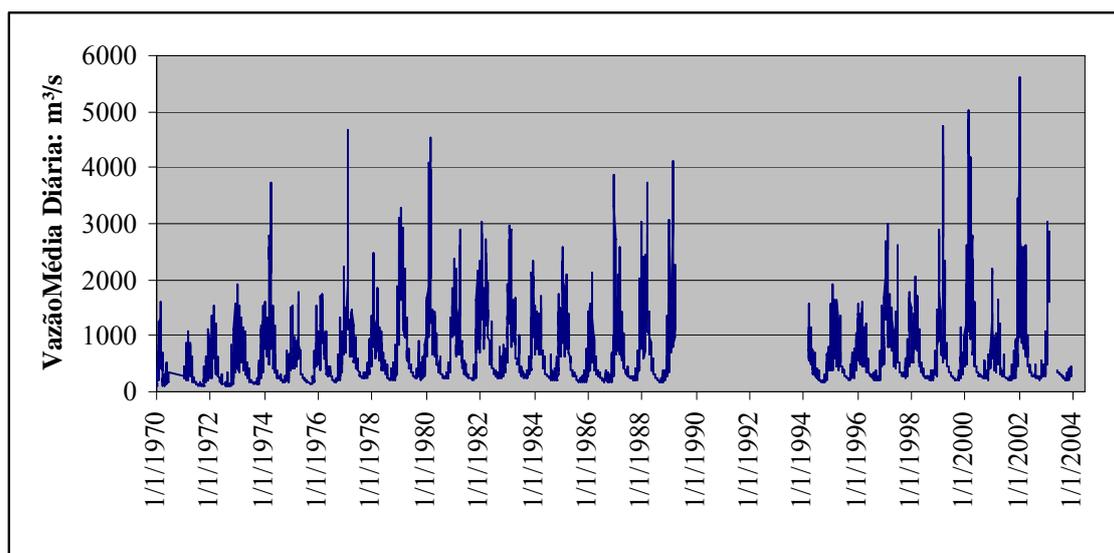


Figura 3: Hidrograma de vazões médias diárias para a estação de Barra de Garças - (Alto curso) - Rio Araguaia – 1970 a 2004.

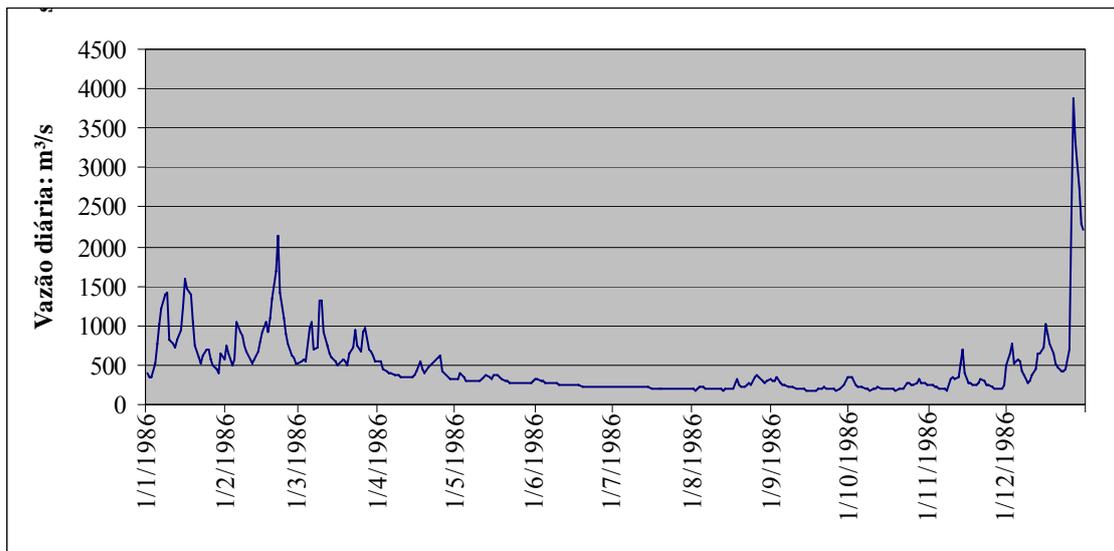


Figura 4: Hidrograma de vazões médias diárias para a estação Barra do Garças (Alto curso) – Rio Araguaia. Detalhe anual: 1986.

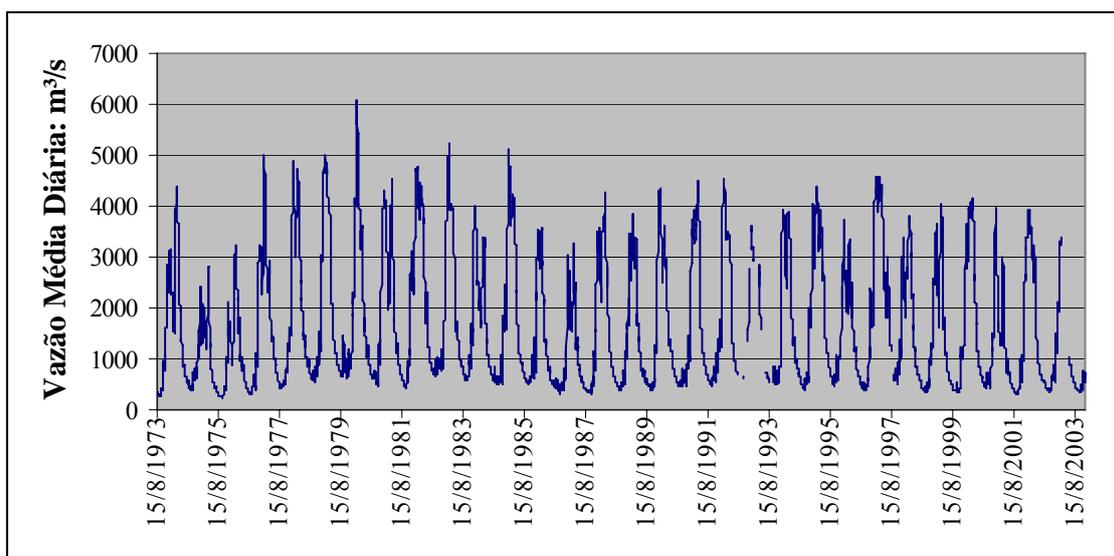


Figura 5: Hidrograma de vazões médias diárias para a estação Luis Alves (Médio curso) – Rio Araguaia – 1973 a 2003.

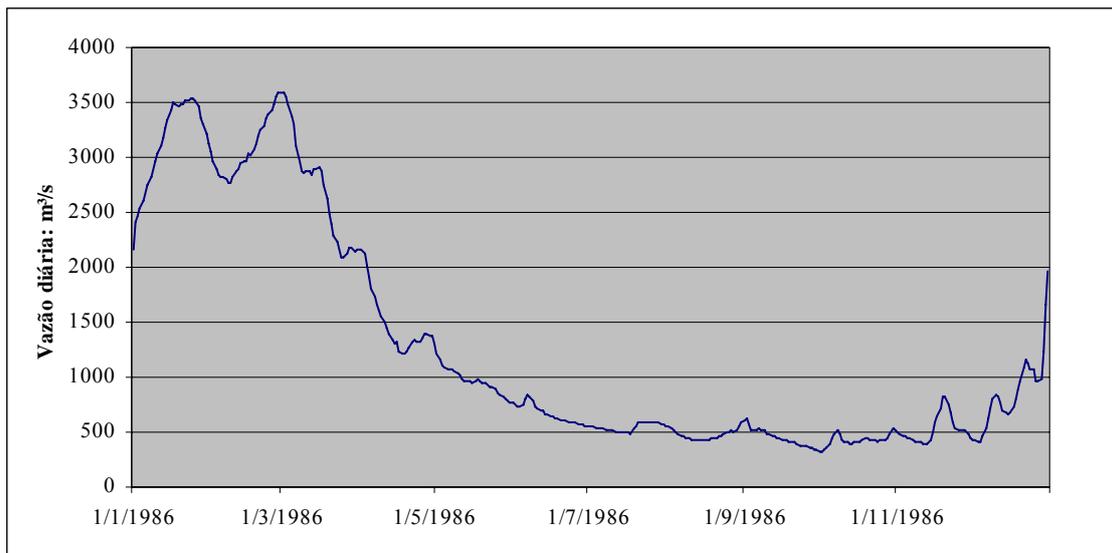


Figura 6: Hidrograma de vazões médias diárias para a estação de Luis Alves (Médio Curso) – Detalhe anual: 1986.

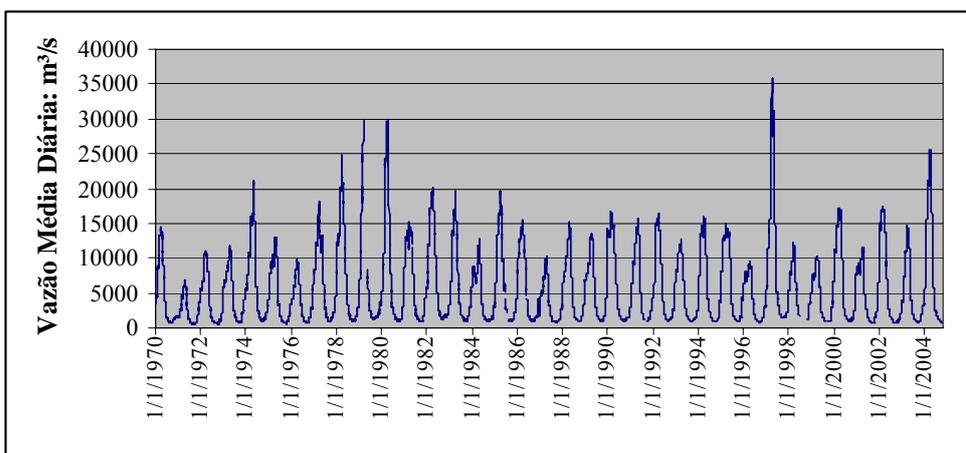


Figura 7: Hidrograma de vazões médias diárias para a estação de Xambioá - Baixo curso - Rio Araguaia. 1970 a 2004.

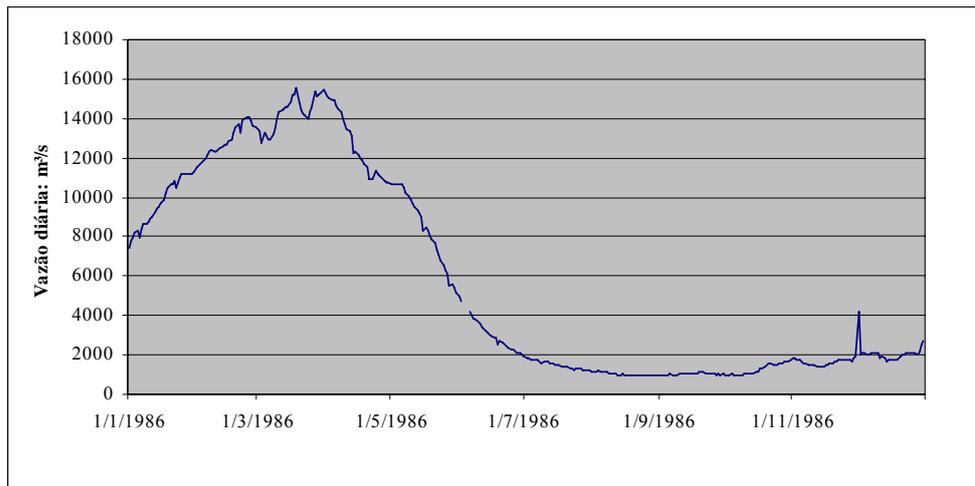


Figura 8: Hidrograma de vazões médias diárias para a estação de Xambioá – (Baixo curso) – Rio Araguaia. Detalhe anual: 1986.

Para ilustrar o comportamento das estações, e para facilitar comparações do comportamento dos fluviogramas em cada estação e entre estações, em cada período os fluviogramas de vazões diárias foram normalizados com respeito da média do período correspondente, permitindo entender melhor a dispersão dos valores a respeito da média, e particular os valores de cheias. Portanto, no fluviograma o valor 1 representa a vazão média anual do período histórico considerado (Figura 9).

O Rio Araguaia mostra picos de cheias bastante irregulares em Barra do Garças que oscilam com valores de até 9 vezes a média anual, enquanto, em Luiz Alves o comportamento é mais suave e regular oscilando entre 1,8 e 3,6. No baixo curso, estação Xambioá, manifesta uma oscilação bem mais marcada que Luiz Alves com oscilações entre 1,2 e 6,2. Embora, os picos de cheias atinjam valores altos com respeito a média, o hidrograma de Xambioá é mais suave e regular que o de Barra do Garças o que apresenta múltiplos picos em cada fase de cheia.

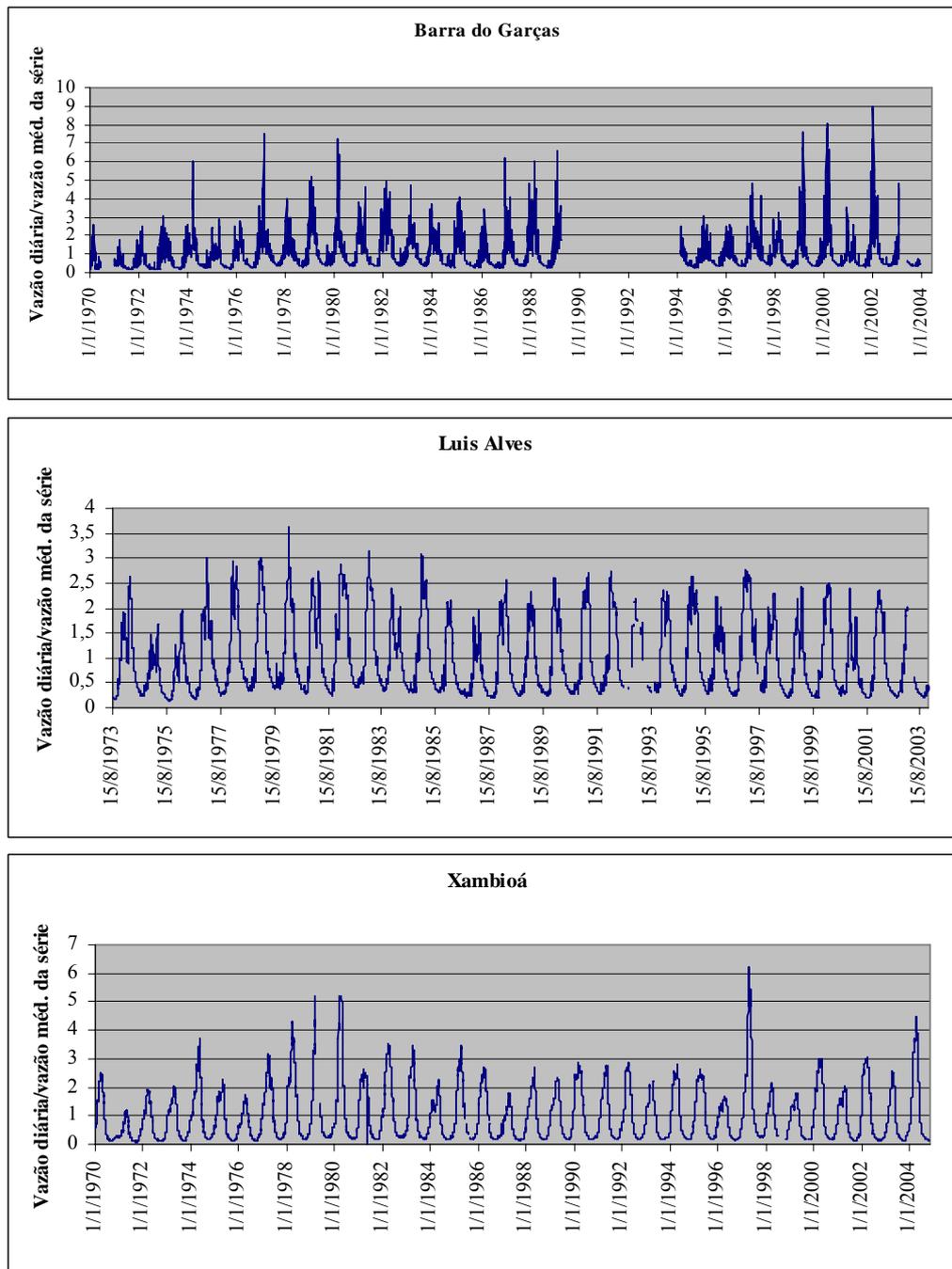


Figura 9: Hidrogramas de vazão média diária normalizados em relação a média da série histórica de cada estação hidrológica.

Como se pode constatar, o rio Araguaia tem picos de vazão bem definidos durante a estação chuvosa e fluxos bem inferiores durante a estação seca, quando diminui as chuvas. A grande variabilidade estacional é refletida em todos os setores do curso principal. Para ilustrar esta variabilidade extrema anual calculou-se a variabilidade do sistema computando para cada ano a relação entre vazão máxima e mínima anual, posteriormente, obtendo a média para toda a série histórica.

Na tabela 1 se pode verificar que o alto curso possui valor de 16, e o médio curso se caracteriza por apresentar valores entre 9 e 13 e o baixo curso, entre 17 e 18,

indicando que a vazão máxima pode variar até 18 vezes em relação ao valor mínimo (Tabela 1).

Essa variação é decorrência da combinação de vários fatores que englobam condições climáticas de precipitação, geologia e geomorfologia da área. Segundo Nordin e Hernandez (1989) e Latrubesse et al., (2005), esses valores de relação entre fluxos máximos e mínimos são característicos de rios tropicais que drenam suas bacias em áreas com clima bem definidos entre estações úmida e seca, como também, possivelmente, devem-se à distribuição das chuvas e a eficiência de armazenamento da bacia.

Como exemplo da precipitação, a Figura 10 apresenta a distribuição de chuvas em Aruanã, mostrando que a vazão está em fase com a precipitação, até mesmo nos picos de subida e diminuição da vazão, que se nota em grande parte dos anos considerados.

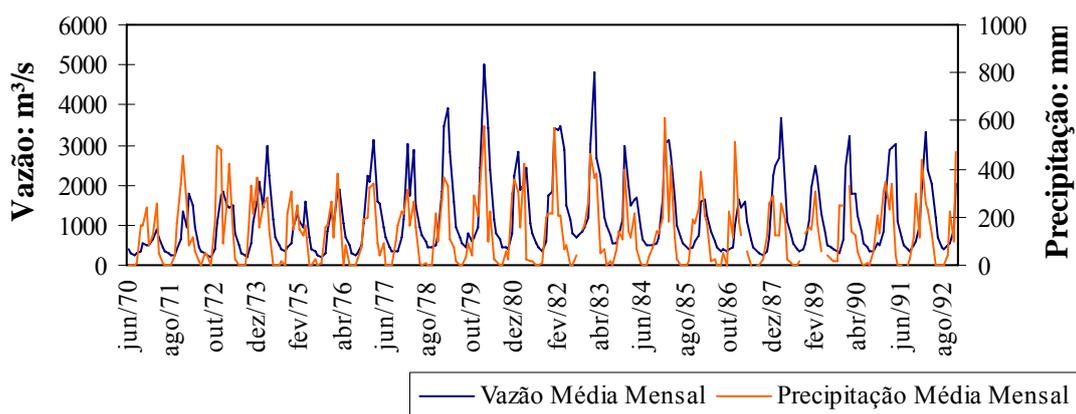


Figura 10: Relação entre Vazões Máximas Anuais e Precipitações Máximas Anuais para a estação Aruanã – Rio Araguaia - 1970 a 1992.

4.2. Relação área de drenagem/vazão

Em termos gerais, os valores de vazões crescem com o aumento da área de drenagem podendo ser elaborada uma relação, onde a vazão é expressa como uma função da área de drenagem. A obtenção das curvas de área de drenagem vs. vazão podem ser de grande utilidade no planejamento ambiental e, especialmente, relacionada para avaliação com os riscos de enchentes (Dunne e Leopold, 1998).

Os dados de vazão média anual das estações do rio Araguaia foram plotados com a área de drenagem correspondente (Figura 11), mostrando uma tendência a aumento de vazão à medida que a área de drenagem aumenta. O expoente da curva

próximo a 1 indica que a vazão média anual se incrementa em proporção direta a área de drenagem.

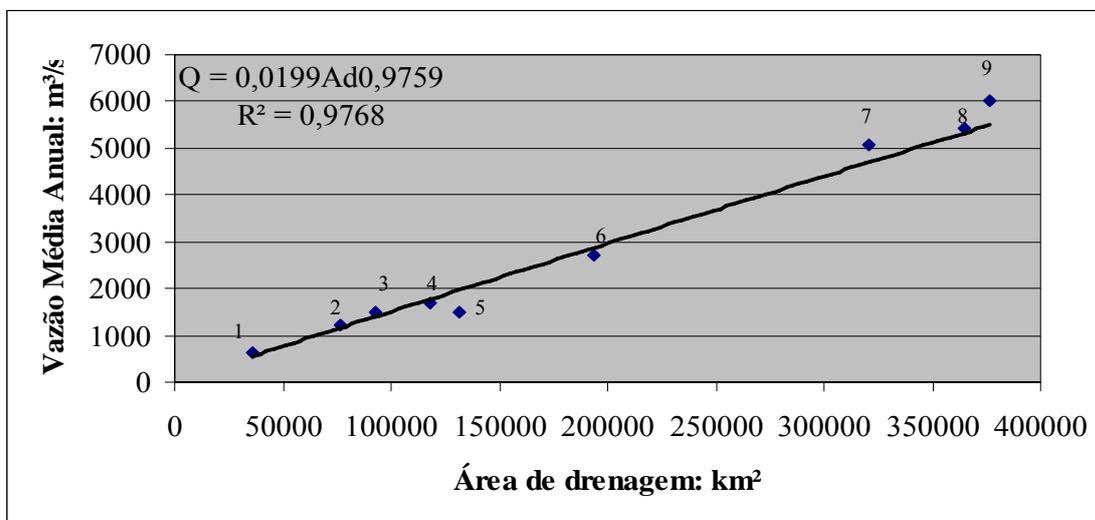


Figura 11: Relação Área de Drenagem / Vazão Média Anual – Compreendendo todas as estações hidrológicas do curso principal do Rio Araguaia. 1- Barra do Garças; 2 – Aruanã; 3 – Bandeirantes; 4 – Luiz Alves; 5 – Faz Telésforo; 6 – S.F. Araguaia; 7 –

No entanto, a mesma relação não é mantida quando são utilizados os valores de vazão máxima anual, em que são considerados apenas os valores extremos registrados para a série histórica. Nesse caso, algumas anomalias podem ser visualizadas, particularmente nas estações inseridas no médio curso, onde a descarga a montante é muitas vezes maior do que as descargas a jusante (Figura 12).

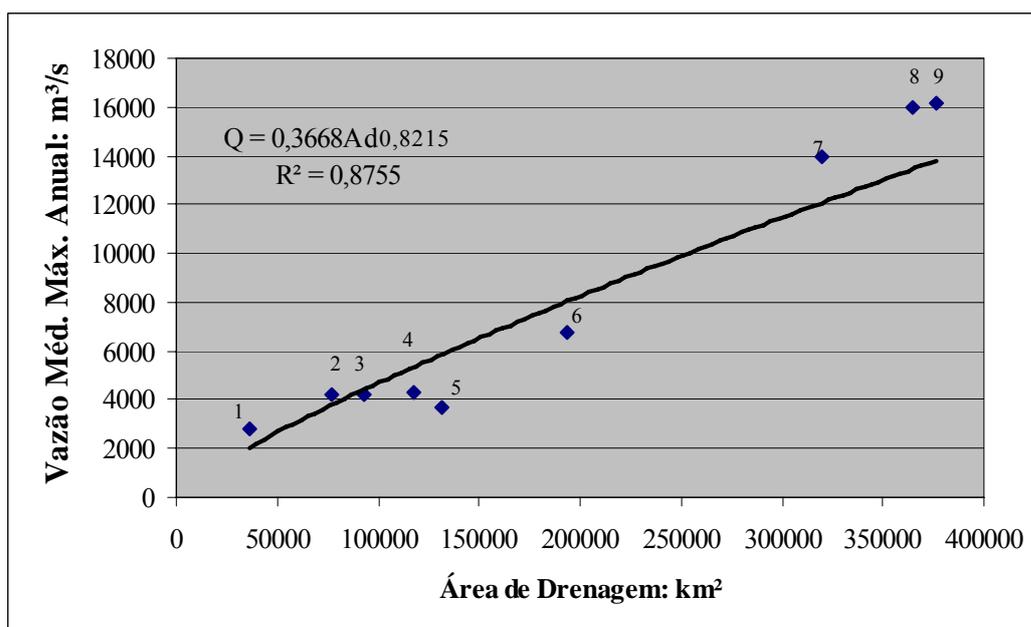


Figura 12: Relação Área de Drenagem/Vazão Máxima Anual – Compreendendo todas as estações hidrológicas do curso principal do Rio Araguaia. . 1- Barra do Garças; 2 – Aruanã; 3 – Bandeirantes; 4 – Luiz Alves; 5 – Faz.Telésforo; 6 – S.F. Araguaia; 7 – Conc.Araguaia; 8 – Xambioá; 9 – Araguatins.

4.3 – Tipos de Enchentes

Grandes rios oferecem respostas complexas de enchentes que podem ser diferenciadas, por exemplo, em função do seu comportamento espacial ao longo do sistema fluvial, de sua duração, ritmo de subida/descida, e outros fatores.

Considerando os dados discutidos sobre as anomalias que ocorrem no rio Araguaia, é possível verificar três tipos de enchentes do médio Araguaia, entre Aruanã e Fazenda Telésforo, inseridas nos segmentos 5 a 10, com fluxos próximos ou superiores as vazões de enchente média (Figuras 13, 14 e 15). Os três tipos foram denominados por enchentes do tipo A, B e C. Cada tipo pode ser caracterizado da seguinte forma:

Tipo A: Caracteriza-se por grandes picos de enchentes marcantes ao longo do médio curso, superando amplamente a capacidade do canal, como no caso de 1980 e 1983, anos em que foram registrados altas vazões e picos extremos em Aruanã, refletindo um forte *input* da alta bacia. Comparando esses picos de vazões do médio Araguaia vemos uma perda substancial de vazão para picos máximos de cheias entre as estações Aruanã e Faz. Telésforo (-30%). Com mais detalhe, verifica-se que em 1983, entre Aruanã e Bandeirantes, a perda de fluxo foi de 15%, enquanto que de Bandeirantes a Luiz Alves, constituiu-se em 10% menos, e entre Luiz Alves e Fazenda Telésforo aproximadamente menos 5% da descarga.

No entanto, essa porcentagem de perdas não é totalmente real, visto que, no trecho entre Aruanã e Luiz Alves, não se somou o aporte de descargas de dois importantes tributários, o rio do Peixe e o rio Crixás-Açu. Embora não existam estações hidrológicas no curso inferior dos rios mencionados, Aquino (2007a) utilizando curvas que relacionam a área de drenagem com a vazão média anual, estimou que os rios do Peixe e Crixás-Açu possuem vazões médias de 185,74 m³/s e 347,96 m³/s, respectivamente, e produzem um incremento na área de drenagem do Araguaia entre os segmentos 5 e início do 9 de 36.121 km². Os valores mencionados significam respectivamente 15,5% e 28,9 % da vazão média em Aruanã (1200m³/s) e esta estimativa complementa com bastante precisão o valor de vazão média anual em Luiz Alves, a qual é de 1700 m³/s.

Lamentavelmente, não existem estimativas dos fluxos de cheias médias anuais nem valores de cheias para anos em particular e, portanto, não resulta possível estimar quanto podem chegar a aportar estes afluentes nos distintos modelos de cheias. Por esta causa, as perdas mencionadas são valores significativamente sub-dimensionados obtidos da diferença direta entre estações fluviométrica sucessivas.

A estação de Aruanã foi considerada a mais representativa para descrever em forma completa as características das enchentes do Tipo A que ingressam no médio curso, por possuir, nas grandes enchentes fluxos com valores muito elevados que ultrapassam os valores das estações mais a jusante do médio curso, parte desse fluxo abastece lagoas, próximas a Aruanã e que estão diretamente ligadas com o canal do rio.

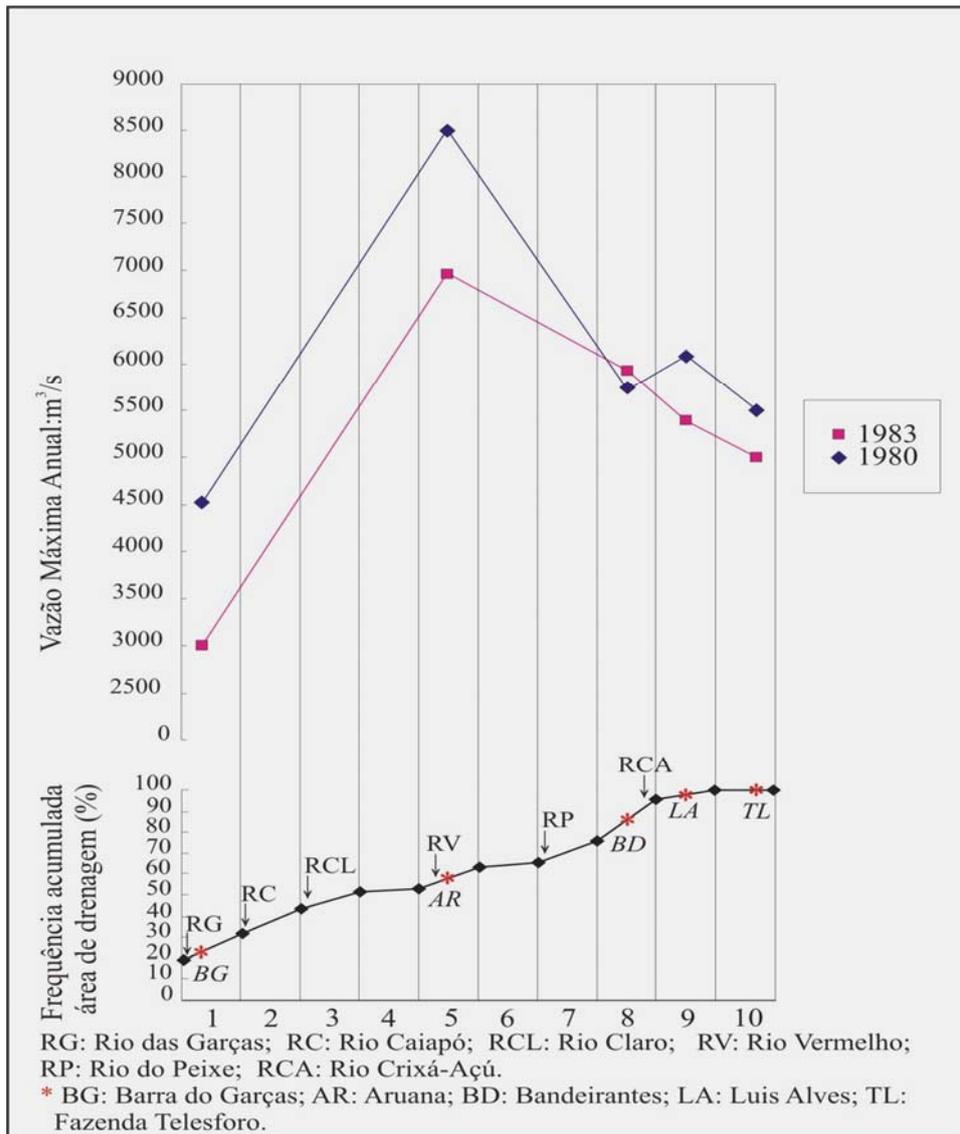


Figura 13: Frequência Acumulada da área de drenagem associada ao tipo de enchente A, ao longo dos dez segmentos do canal do rio Araguaia. ↓ - confluência com os princ. afluentes * - Localização das estações hidrológicas

Tipo B: Apresenta picos de vazão entre 4.000 e 5.000 m³/s em Aruanã, e caracteriza-se, por apresentar leves aumentos de vazão até Luiz Alves e valores conservativos ou pequenas perdas a jusante, de Luiz Alves a Fazenda Telésforo por derivação de água para o rio Javáes, como no caso dos anos de 1977, 1978 e 1979.

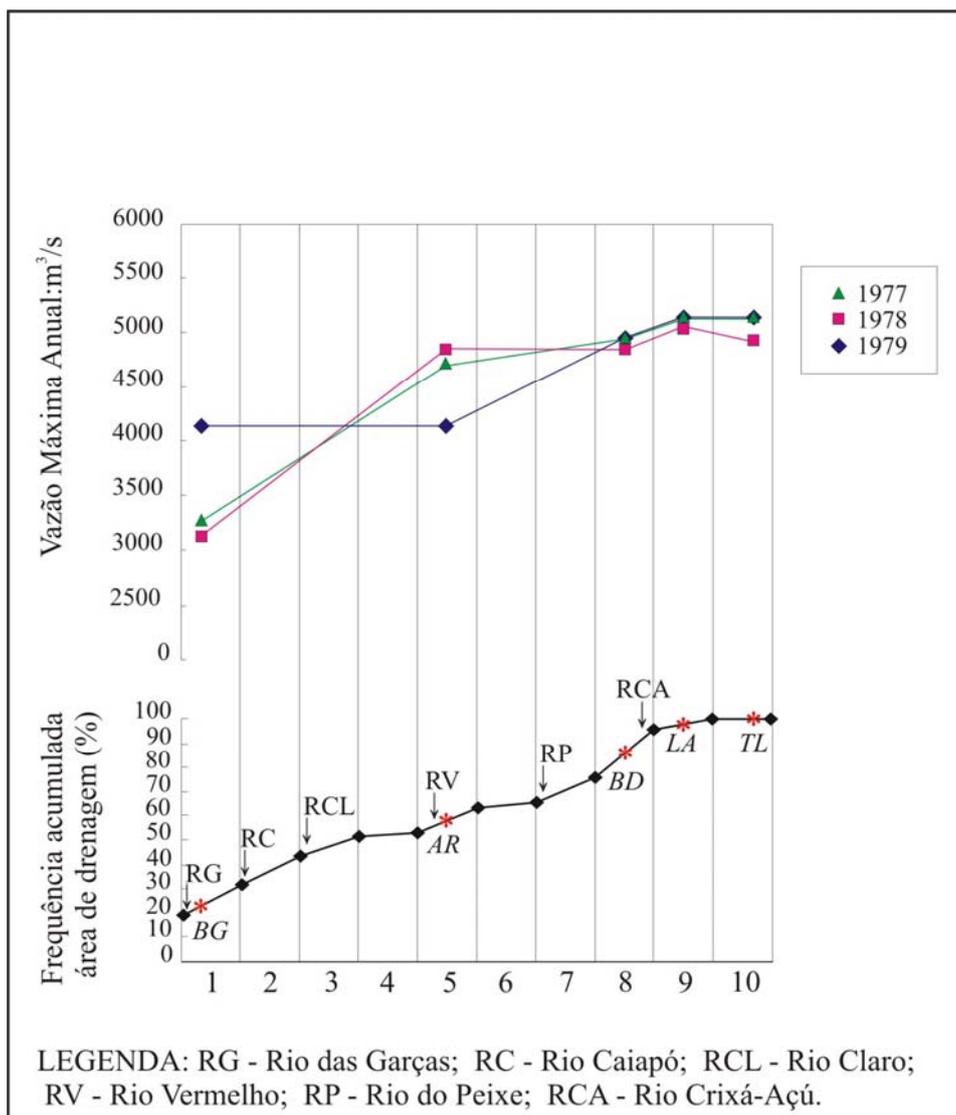


Figura 14: Frequência Acumulada da área de drenagem associada ao tipo de enchente B, ao longo dos dez segmentos do canal do rio Araguaia. ↓ - confluência com os princ. afluentes. * - Localização das estações hidrológicas.

Tipo C: Não existe uma incidência de picos extremos em Aruanã, como no tipo A, e possuem valores de vazão máxima entre 4.500 e 5.500 m³/s, caracterizadas como conservativas em parte do médio curso. Mostrando valores ligeiramente ascendentes (2%) entre Aruanã e Bandeirantes. A diferença com o tipo B é que mostra tendência a perda de vazão entre Bandeirantes e Luiz Alves (aproximadamente 6%), podendo ainda ser conservativas ou perder vazão entre Luiz Alves e Telésforo, também por derivação da água em épocas de cheias para o Javaés, a partir daí o canal recebe um importante tributário – o rio das Mortes – e transcorre normalmente para o baixo curso (Figura 15).

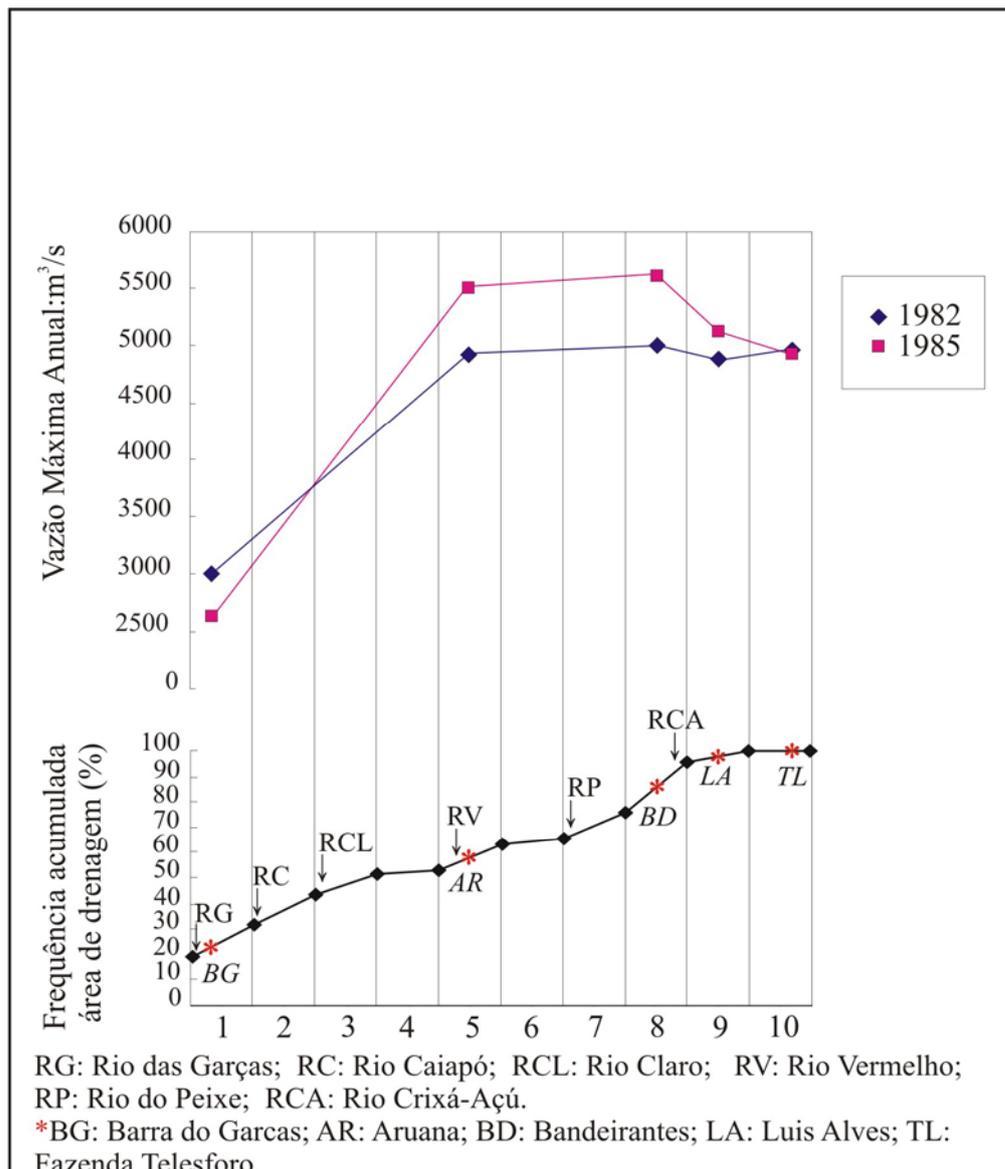


Figura 15: Frequência Acumulada da área de drenagem associada ao tipo de enchente C, ao longo dos dez segmentos do canal do rio Araguaia. ↓ - confluência com os princ. afluentes. * - Localização das estações hidrológicas.

4.4. Duração dos fluxos

Conhecido parâmetro hidrológico de permanência de fluxos, a curva de duração de fluxos é utilizada para conhecer a porcentagem de dias em um ano que determinados valores de fluxo ocorrem num setor ou seção do rio. Sendo uma curva acumulativa de frequência dos fluxos, a curva de permanência indica a porcentagem de tempo que um determinado valor de vazão foi igualado ou excedido durante o período observado. Para facilitar a utilização dos dados, o somatório das frequências é geralmente divulgado em termos de porcentagem de tempo, em vez de em número de dias.

Na Figura 16 está ilustrado as durações de fluxos do alto, médio e baixo Araguaia, representado pelas estações Barra do Garças, Luiz Alves e Xambioá, respectivamente. Os valores de vazões diárias utilizados na curva de permanência foram normalizados em relação à vazão média anual correspondente a cada estação, com o intuito de facilitar a comparação de dados entre estações fluviométricas do alto, médio e baixo Araguaia as quais possuem vazões com escalas altamente diferentes.

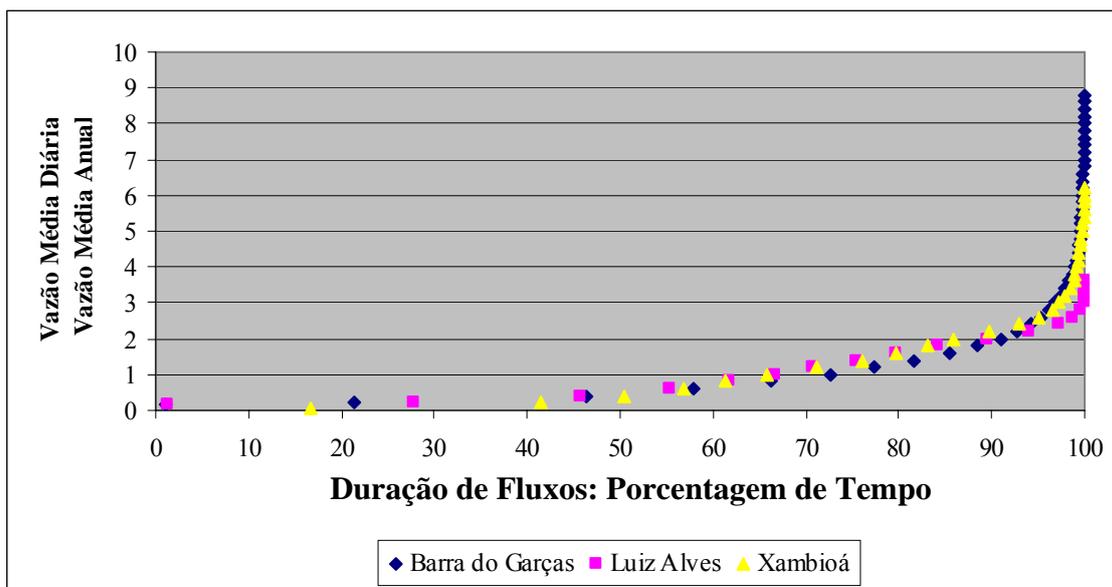


Figura 16: Curva de duração de Fluxos para as estações Barra do Garças, Luiz Alves e Xambioá, representando, respectivamente, o alto, médio e baixo curso do rio Araguaia.

A porcentagem de duração do fluxo de vazão média anual de cada série para as 09 estações do rio Araguaia varia de 27,6% para alto curso a 34% para baixo curso, sendo que essas vazões se mantêm no canal de 100 a 124 dias, respectivamente, enquanto no médio curso, para Luiz Alves essa vazão corresponde a uma duração de 32%, e se mantêm por aproximadamente 120 dias no canal. Como exemplo, pode se mencionar que estes valores resultam superiores aos valores padrões de 25% para a vazão média anual obtidos para rios da América do Norte por Dunne e Leopold (1998).

Em relação às vazões de margens plenas, no médio curso, na estação Aruanã, ressaltada por ser uma estação com valores extremos de enchentes, a vazão de margens plenas, aproximadamente 3.400 m³/s, permanece no canal durante 5% do tempo o que equivale a 18 dias por ano onde o canal está totalmente cheio, sendo que em 95% do tempo, as vazões são menores, não ultrapassando o limite do canal. Já no baixo curso,

em Xambioá esse tipo de vazão com valor de 13.248 m³/s, permanece no canal por cerca de 7% do tempo ou 25 dias por ano.

Para vazões de enchentes médias ou média das máximas anuais em Aruanã, o tempo de permanência no canal é menor que 2% ou 7 dias ao ano. Considerando a série histórica, a maior enchente da série, 8.374 m³/s, possui tempo de permanência de 0,02%, embora, na realidade esse valor de fluxo se manteve por 2 dias.

4.5. A *Frequência de Ocorrência.*

A probabilidade de enchentes importantes ocorrerem, ou seja, a frequência média de ocorrência é a base para estudos aplicados em sistemas fluviais, riscos de inundação e planejamentos que tratam sobre canais dos rios, como também, um parâmetro de importância para a ecologia fluvial.

A frequência de ocorrer um dado fluxo é expressa através de uma curva de frequência, que indica a relação de magnitude de vazão e sua frequência de ocorrência. Existem vários procedimentos para computar frequência de enchentes. Um dos mais simples é o intervalo de recorrência ou período de retorno de enchentes, baseado nas vazões máximas para uma série de anos registrados (Dunne e Leopold, 1998).

A frequência de ocorrência dos mais altos fluxos do rio Araguaia foi obtida para as nove estações hidrológicas inseridas no curso principal, que representam o alto, médio e baixo canal (Figura 17 e 18). Neste caso as recorrências de cheias foram calculadas utilizando a distribuição estatística de Gumbel de valores extremos.

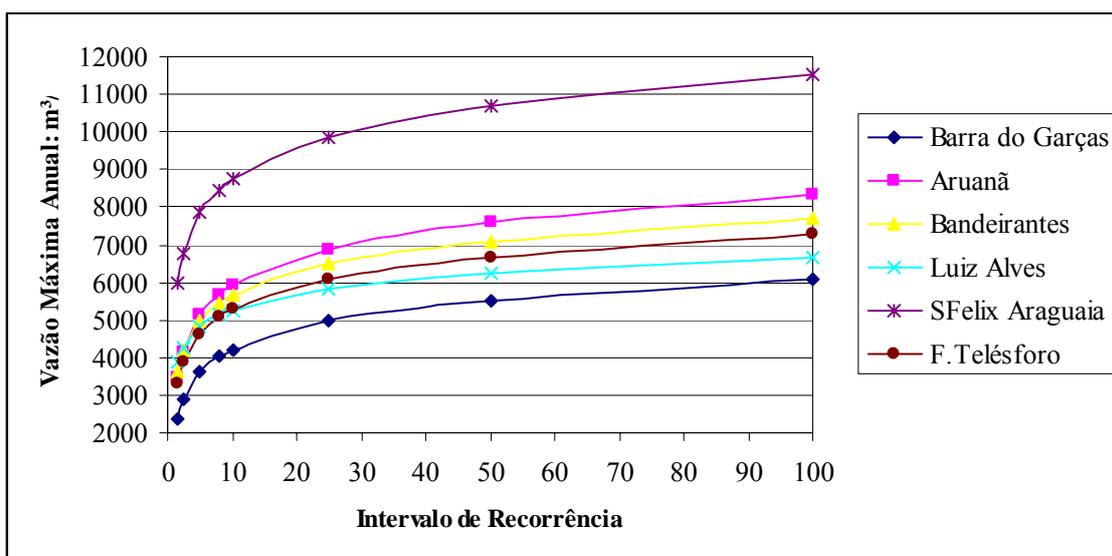


Figura 17: Intervalo de Recorrência em anos para as estações inseridas no alto e médio curso do rio Araguaia.

No Brasil, vazões/cotas de margens plenas são designadas para poucos rios. No rio Araguaia esses valores foram definidos como sendo de 2.349 m³/s para o alto curso, enquanto no médio curso estão entre 3.200 m³/s (Faz. Telésforo) e 5.989 m³/s (São Félix do Araguaia), e para o baixo curso entre 11.448 m³/s (Conceição do Araguaia) e 14.242 m³/s (Araguatins).

Do ponto de vista da ecologia de ambientes aquáticos, o médio Araguaia é considerado o segmento mais importante, por sua diversidade de ambientes aquáticos existentes. Nesse setor, na estação Aruanã, o valor de margens plenas se alcança quando o rio atinge a marca de 5,8 m, o qual representa uma vazão aproximada de margens plenas de aproximadamente 3.400 m³/s. Este valor indica a saturação total da planície de inundação, embora, a mesma comece a se hidratar e saturar com valores de cota inferiores ao mencionado, devido a uma série de conexões através de canais menores, zonas de diques rompidos, saturação dos sedimentos da planície aluvial e aportes locais de águas de chuva e tributários que deságuam sobre a planície aluvial.

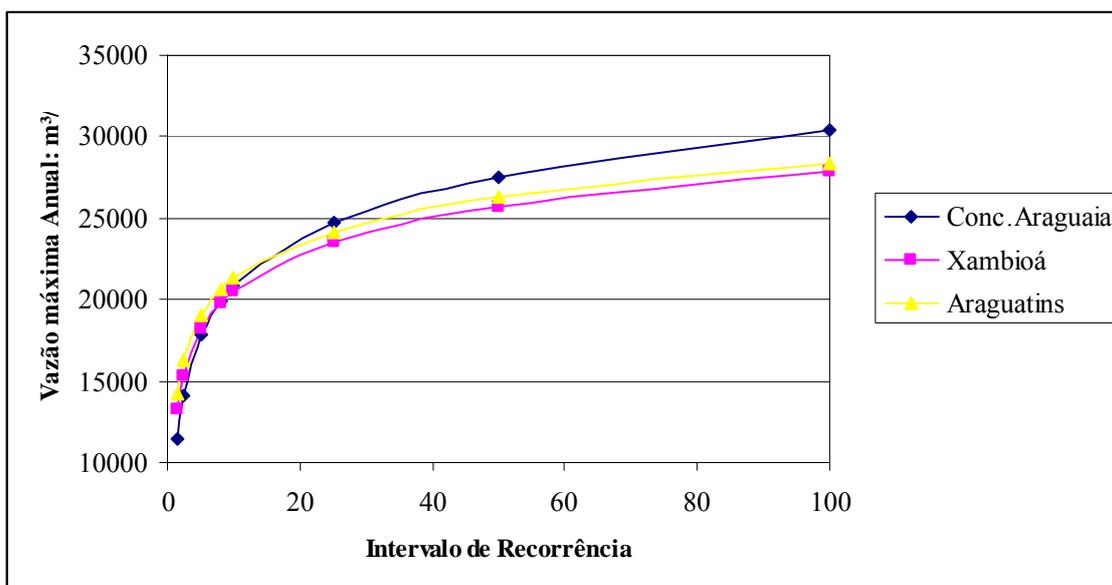


Figura 18: Intervalo de Recorrência em anos para as estações inseridas no baixo curso do rio Araguaia.

A recorrência de margens plenas no Rio Araguaia coincide com o valor teórico da literatura, isto é, uma recorrência de 1,5 anos. Embora, a distribuição estatística oferece interpretações duvidosas a respeito das grandes cheias que saturam a planície aluvial e armazenam grandes volumes de água. Por exemplo, utilizando a distribuição de Gumbel na estação Aruanã, a grande cheia de 1980 e 1983 teria uma recorrência de

100 e 25 anos respectivamente. A estimativa de uma recorrência de 100 anos para a enchente de 1980 em Aruanã parece ser muito improvável e artificial.

A recorrência dos 100 anos é uma prática já estabelecida na análise de frequência de inundações e utilizada por engenheiros para estimar desenhos de obra de engenharia crítica, como represas, obras de defesa de inundações, instalação de usinas nucleares, ou de lixo tóxico, dentre outras. Porém, existem fortes questionamentos sobre a carência de fundamentação científica deste tipo de extrapolação obtido de uma análise probabilística, e sua aplicação em situações reais do mundo natural, sendo necessário um estudo específico de paleo-inundações para estimativas de longo prazo (Baker 2003).

Quando se compara a máxima vazão com a enchente média anual para cada série em cada estação, também se detectam diferenças entre o alto, médio e baixo Araguaia. Para a estação Barra do Garças a máxima vazão da série considerada é aproximadamente 53% maior que a enchente média anual, estimada com recorrência de 2,33 anos. No médio curso, a máxima vazão registrada é aproximadamente 24 a 37% maior, com exceção da estação Aruanã, que possui seu pico máximo 96% maior do que a enchente média anual isso, pelo rápido aumento de sua área de drenagem e conseqüentemente, pela entrada de tributários importantes como os rios Vermelho e Claro.

5. Discussão

5.1. Regime Hidrológico

O rio Araguaia está compartimentado em alto, médio e baixo cursos em função da geologia da bacia e do controle estrutural existente e de algumas características geomorfológicas, sendo a mais importante a presença ou ausência de uma planície aluvial bem desenvolvida. Desta forma, o alto e o baixo curso, os quais correm fundamentalmente em leito rochoso são diferenciados do médio curso, onde se apresenta uma bem desenvolvida planície aluvial Latrubesse e Stevaux (2002). Contudo, não foram caracterizados em detalhe, o regime hidrológico do sistema, com a finalidade de confirmar se o comportamento hidrológico estaria de acordo com a compartimentação proposta.

Os resultados obtidos demonstram que os três compartimentos possuem um comportamento hidrológico e geomorfológico bem diferenciado.

Do ponto de vista do regime hidrológico, em períodos de grandes enchentes, os picos máximos nas estações de Barra do Garças e Aruanã (respectivamente, alto e início do médio curso) são geralmente bastante pontiagudos e de subida relativamente rápidas, com dois a três picos importantes e de curta duração, a evolução desses picos se dá para as estações hidrológicas a jusante com fluxos diários menos oscilante entre subida e descida.

Em geral, no alto curso, há uma grande oscilação de vazões, com valor médio de coeficiente de variabilidade entre picos máximos e mínimos de 15.6 (Tabela 1) e vários repiquetes na fase de cheia, por mais que seja um ano marcadamente seco. Isto está diretamente relacionado ao relevo, e ao fato do canal principal e seus afluentes estarem encaixados sobre rochas sedimentares da Bacia do Paraná e do embasamento cristalino pré-cambriano, apresentando uma pouca desenvolvida e esporádica planície aluvial, o que influencia consideravelmente o comportamento do sistema fluvial.

Com relação às estações que constituem o médio curso, de Aruanã a São Félix do Araguaia, o coeficiente médio de variabilidade de vazões está entre 13 e 8.3, valores mais baixos que o do alto curso. Embora, sejam significativamente alto, esse decréscimo acontece pelo fato da planície aluvial, inserida nesse trecho, amortecer a variabilidade dos fluxos nos meses de cheias, e manter um certo fluxo de base e retroalimentação por drenagem da planície aluvial nos meses mais secos.

Além disso, o rio Araguaia, nesse setor, não possui uma distribuição típica de vazões à medida que flui e aumenta sua área de drenagem, pois em algumas estações, a descarga a montante é muitas vezes maior do que as descargas a jusante (Figura 12). A partir de um valor determinado de alta vazão o rio na estação de Fazenda Telesforo, com uma área de drenagem de 131.600 km², tem os picos anuais menores do que em Aruanã que possui uma área de drenagem inferior (76.964 km²) e se encontra a montante. Isto, se reflete mais enfatizadamente durante as cheias excepcionais como a de 1980, quando o rio tende a perdas no volume de água de até 33% entre o início do médio curso até a estação Fazenda Telésforo (Figuras 13, 14 e 15), em função do armazenamento ao longo da planície aluvial que possui um complexo sistema de lagos, como também, por derivação de parte da descarga para o rio Javaés.

Esta tendência de perda de água mantém-se ainda nos períodos de estiagem para anos úmidos, mas, não nos anos marcadamente secos, onde o rio mantém um aumento extremamente baixo e gradativo de vazões em direção a jusante até alcançar o rio das Mortes e, a partir daí, aumenta suas descargas mais significativamente.

5.2. Por que Rio Araguaia tem este comportamento e qual a importância ecológica deste regime de fluxos

O comportamento atípico do rio Araguaia como detectado nas curvas área de drenagem x vazão e, em particular nas inundações dos tipos A e B, pode ser explicado por duas causas: a) armazenamento de água ao longo de uma bem desenvolvida planície aluvial que apresenta um sistema complexo de lagos e, b) derivação de fluxo por transbordamentos em direção ao rio Javaés, que limita pelo lado leste a Ilha do Bananal e o qual volta a se unir ao rio Araguaia depois percorrer 350 km.

Esses dois mecanismos principais produzem as anomalias detectadas na Figuras 13, 14 e 15, que indicam decréscimo das vazões do rio Araguaia desde Aruanã até a confluência com o rio das Mortes a partir de onde o rio assume um comportamento “normal” com aumento da vazão em função do aumento da área de drenagem.

5.2.1. O Efeito da Planície Aluvial na Transmissão dos Fluxos

Como mencionado, no médio curso, o rio flui através de uma planície aluvial bem desenvolvida, entretanto, na área superior do médio Araguaia, o rio corta blocos tectônicos de rochas pré-cambrianas.

A planície aluvial do médio Araguaia é um complexo mosaico de unidades morfo-sedimentares formadas por sedimentos do Holoceno e provavelmente do Pleistoceno tardio, na qual, Latrubesse e Stevaux (2002) reconhecem três tipos de unidades geomorfológicas dominantes que conformam a planície aluvial atual: I - planície de inundação de escoamento impedido, II - unidade dominada por paleomeandros e, III - planícies de barras e ilhas acrescidas (Figura 19).

A planície de inundação de escoamento impedido é aparentemente a unidade mais antiga da planície de inundação. Tem grande expressão em todo o setor analisado, aparecendo em ambas as margens como faixas descontínuas, ocupando os setores externos da planície aluvial, distante da influência direta do canal principal. Diferencia-se das outras unidades por ser uma área aplanada, ocupando uma posição topográfica mais baixa que as demais unidades da planície. É caracterizada pela quantidade de lagoas, pântanos e canais menores abandonados (Bayer, 2002)(Figura 19).

A unidade dominada por paleomeandros é caracterizada pela presença de numerosos complexos de paleomeandros, constituindo grandes lagos tipo oxbow. Geralmente ocupa uma posição intermediária entre a unidade de barras e ilhas

acrescidas e a planície de inundação de escoamento impedido. Esta unidade foi formada anteriormente à unidade de barras e ilhas acrescidas e continua ativa até o presente. A morfologia geralmente se encontra suavizada devido à deposição de sedimentos recentes (Latrubesse e Stevaux, 2002, Bayer, 2002)(Figura 19).

A unidade de barras e ilhas acrescidas é gerada pela presente atividade do canal. É uma faixa irregular, alongada e suavemente ondulada que acompanha o canal principal em grande parte do curso fluvial. Esta faixa é permanentemente modificada por processos de erosão e sedimentação (Figura 19).

Estudos detalhados sobre as características da planície aluvial e mapeamento dos sistemas lacustres foram realizados no Laboratório de Geologia e Geografia Física-LABOGEF da Universidade Federal de Goiás, onde foram mapeados 580 km da planície aluvial, equivalente a uma área de 2.106,88 km², desde Barra do Garças até a confluência com o rio Cristalino, próximo a Ilha do Bananal, (Bayer, 2002, Morais, 2006), o sistema de mapeamento seguiu a definição de unidades da planície aluvial definidas por Latrubesse e Stevaux (2002).

A unidade II é a de maior representatividade areal ocupando aproximadamente 46,6% da planície aluvial, seguida pela unidade I, que ocupa 39,7% da área, e por último, a unidade III representando cerca de 7,9% da área total da planície. Enquanto, os sistemas lacustres ocupam aproximadamente 5,8% de área nesta superfície.

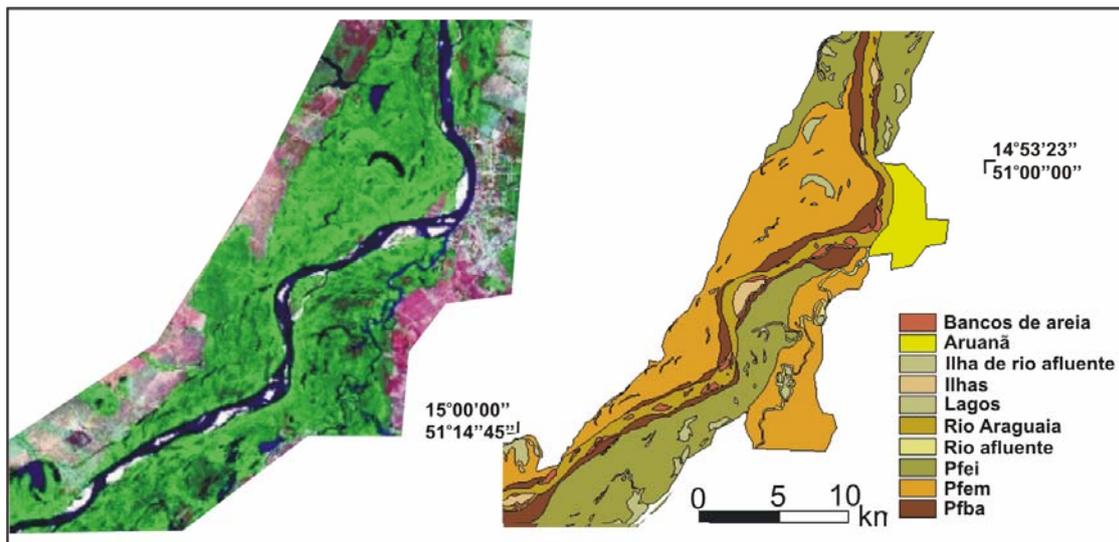


Figura 19: Unidades geomorfológicas da planície aluvial do Rio Araguaia. Exemplo da região de Aruanã. Pfei= planície de escoamento impedido, Unidade I; Pfem= planície de paleomeandros, Unidade II; Pfba= Planície de barras e ilhas acrescidas, Unidade III.

As unidades da planície não seguem um padrão regular de distribuição ao longo do canal. Em alguns segmentos, algumas unidades podem apresentar dimensões bastante reduzidas, erodidas pelo processo de migração lateral do canal ou mesmo não existirem (Morais, 2006). Com intuito de melhor analisar a distribuição areal das unidades da planície de inundação em função dos segmentos do Araguaia, cada unidade da planície foi quantificada em função dos dez segmentos em que o canal está dividido (Figura 20).

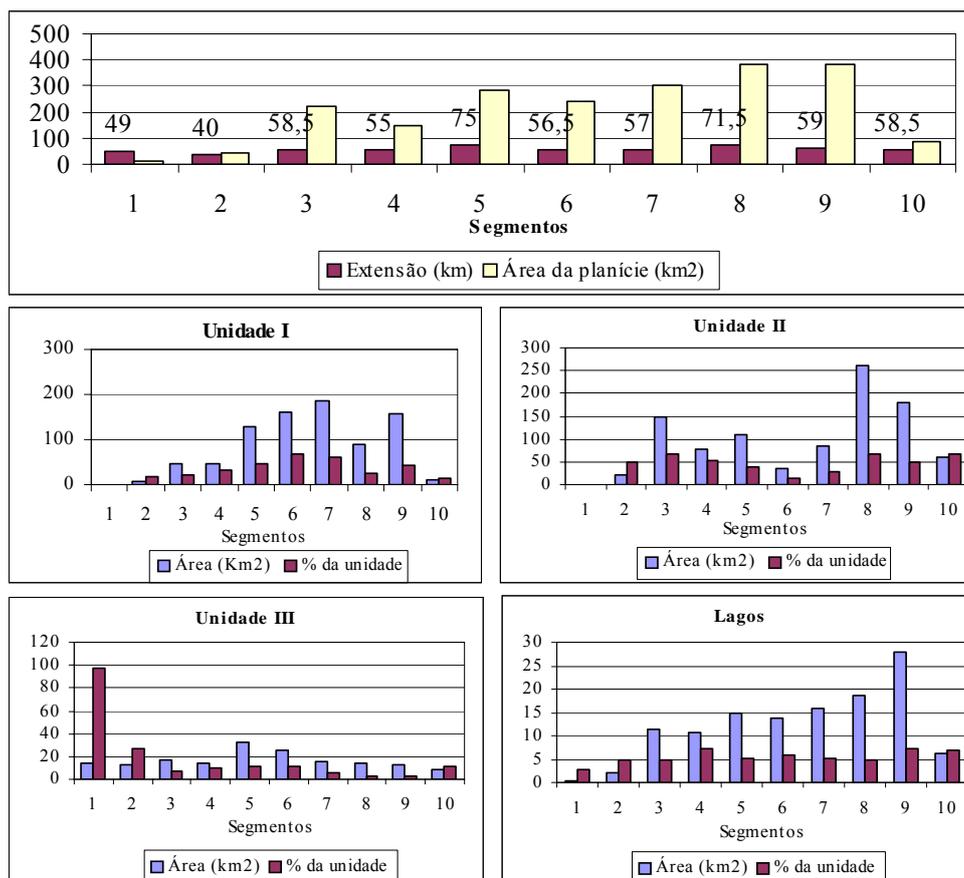


Figura 20: Distribuição areal e percentual das unidades morfo-sedimentares da planície aluvial do médio Rio Araguaia entre Barra do Garças (MT) e a confluência do Rio Cristalino com o Araguaia, próximo à Ilha do Bananal. Fonte: Morais (2006).

Os segmentos 1 e 2 são os que apresentam as menores áreas de planície aluvial, pelo fato de estes segmentos estarem encaixados em rochas cristalinas e condicionados por lineamentos estruturais (Morais, 2006).

A partir do segmento 3, se inicia a bacia sedimentar do Bananal, uma área de sedimentos quaternários que ocupa cerca de 23% da área de toda a bacia (Latrubesse et al., 1999; Latrubesse e Stevaux, 2002).

A Figura 20 mostra que a planície de escoamento impedido (Unidade I) ocupa área superior nos segmentos 5, 6 e 7 em relação às demais unidades, nos segmentos 4 e 9 ela não supera a unidade II, mas, tem uma distribuição areal bastante significativa.

A planície de paleomeandros (Unidade II) é dominante nos segmentos 3, 4, 8, 9 e 10. Entre esta unidade e a unidade I percebe-se que os segmentos 4 e 9 apresentam diferenças areais muito pequenas, nestes dois segmentos de canal, as duas unidades I e II estão melhores distribuídas. Também, a área da planície de paleomeandros distribuída nos segmentos 2 e 10 é muito inferior às áreas dos demais segmentos, neste sentido, estes dois segmentos não desempenham uma importância representativa, na caracterização morfo-sedimentar da unidade II.

A planície de acreção de barras e ilhas apresenta valores areais muito pequenos quando comparados às outras unidades. Os segmentos 3, 7, 8 e 9 são os de menor representatividade areal em relação às áreas de suas respectivas planícies, variando entre 3% e 7% aproximadamente. Nos segmentos 4, 5, 6 e 10 a distribuição é relativamente homogênea. Nos segmentos 1 e 2 estes valores são bastante elevados, isso porque o desenvolvimento de suas planícies aluviais estão associados principalmente à acreção de barras de canal e a formação desta unidade especificamente.

A distribuição das unidades da planície, em função dos segmentos são bastante diferenciadas. Em todos os segmentos com exceção do 10 a porcentagem de área ocupada pelas unidades I e II juntas, está entre 82% e 91%. Em apenas 3 segmentos (5, 6 e 7) a unidade I é dominante sobre as demais, no restante com exceção do segmento 1, sobressai-se a unidade II (Morais, 2006).

Como exemplo, dos processos de conexão da planície aluvial com o canal principal, se apresentam as relações de cota e posição topográfica das unidades da planície na região de Aruanã (segmento 5). Levantamentos de campo sobre as barras, ilhas nas unidades da planície aluvial permitiram comprovar que as barras de canal ficam cobertas quando o rio atinge a cota 3,8 na estação mencionada e, a partir desse momento, a planície aluvial começa a ser afetada pelos processos de inundação. O nível de margens plenas é atingido. E, quando o rio atinge a cota 5,8m os dique marginais de maior altura ficam cobertos pelas águas de inundação. As curvas de permanência indicam que a duração média do pulso de inundação é de aproximadamente 20%, enquanto que as cheias que superam valor de margens plenas tem uma duração média de 5%.

5.2.2. *Vegetação associada à Planície Aluvial*

A vegetação integrada à planície aluvial do médio rio Araguaia é considerada complexa e diversa, agrupada por Araújo (2002) e diferenciada em quatro unidades vegetacionais: vegetação pioneira herbácea, vegetação arbustiva-arbórea, vegetação arbórea e vegetação antropizada.

A Unidade de Vegetação Pioneira herbácea é caracterizada por apresentar plantas de pequeno porte espaçadas entre si, sendo os maiores representantes as gramíneas e ciperáceas, além de representantes como as amarantáceas, euforbiáceas e onagráceas. Esta associação vegetacional está diretamente relacionada com a colonização pioneira de ilhas e barras fluviais (Araújo, 2002), e está mais ligada ao rio, sofrendo as influências da dinâmica fluvial.

A Unidade de vegetação intermediária entre arbustiva – arbórea está caracterizada por apresentar distintas associações arbustivas e arbóreas onde os representantes mais freqüentes são as gramíneas, euforbiáceas, ciperáceas, compositae, curcubitaceae, onagraceae, bignoneaceae, leguminosae e sterculiaceae (Araújo, 2002). Representa um estágio de colonização mais avançado que o anterior. Esta unidade sofre influência do canal associada a sua dinâmica de enchentes. Estão associadas a uma topografia superficial irregular, produzidas por meandros abandonados e/ou colmatados, cuja superfície está associada a sedimentos areno-argilosos, proporcionando uma boa fixação vegetal. Um outro ambiente de estudo desse grupo são as ilhas mais antigas já estabilizadas e que apresentam as mesmas características observadas nas margens do canal.

A Unidade de vegetação arbórea é caracterizada por apresentar, quase que exclusivamente, uma vegetação de grande porte de representantes arbóreos e por estar associada aos setores mais estáveis e relativamente mais antigos da planície aluvial. O desenvolvimento dessa vegetação está diretamente relacionado com a superfície que apresenta grande quantidade de matéria orgânica. Não sofrem influências diretas do canal, e a dinâmica de inundação nessa área está vinculada à saturação da planície aluvial e precipitação pluvial. Os tipos vegetais dominantes são as secopias, palmeiras, euforbiáceas, begoniáceas, passifloráceas, leguminosas (Araújo, 2002).

A quarta Unidade, considerada como vegetação antropizada, representa pouca extensão dentro da planície aluvial, e corresponde a todas as áreas de planície que foram ou estão sendo ocupadas pelo homem, utilizadas para uso de pastagens, agricultura e construções.

Morais (2006) espacializou a vegetação de acordo com as unidades geomorfológicas da planície de inundação nos segmentos 4 e 5, verificando que nas unidades I (plan. de escoamento impedido) e II (plan. de paleomeandros), predomina a vegetação arbórea e na unidade III (plan. acrescida de barras e ilhas) domina a vegetação do tipo arbustiva-arbórea.

A transmissão de fluxos sobre a planície aluvial contempla como condições fundamentais: profundidade da lâmina de água, topografia da planície de inundação e valores de rugosidade. A rugosidade da planície aluvial, por exemplo, pode ser classificada por valores de coeficiente de rugosidade de Chezy (Mertes, 1994). Quanto maior a densidade e porte da vegetação da planície aluvial maior o efeito de rugosidade atingindo valores maiores em superfície florestadas.

A vegetação das várzeas nos grandes rios tem um importante efeito no amortecimento do escoamento fluvial até agora pouco conhecido. No baixo rio Paraguai, por exemplo, a interferência da vegetação pode dissipar entre 5 e 20% o volume de água de uma inundação (Casco et al, 2005). No caso de zonas com vegetação arbórea encontraram uma diminuição da velocidade da correnteza de até 10 vezes aquela do curso fluvial (Neiff et al, 1994).

No caso do médio Araguaia, a existência dominante de vegetação arbórea de grande porte, e, não somente gramíneas dificulta mais a transmissão de fluxo e beneficia a absorção de água na planície produzindo maiores perdas de descargas e a retenção de sedimentos.

5.2.3. Lagos

Os lagos constituídos sobre a planície de inundação sustentam o funcionamento de diversos ecossistemas aquáticos. É nesse ambiente que ocorre a maior produção de matéria orgânica oriunda da decomposição vegetal aquática e de transição aquática-terrestre (Junk et.al. 1989).

Foram diferenciados aproximadamente 300 lagos da planície aluvial do médio rio Araguaia, e classificados segundo os processos fluviais que os originaram e alguns parâmetros morfométricos, através de imagens de satélite Landsat 5 TM e Landsat 7 ETM utilizando o SIG (Sistema de informação geográfica) e Spring (Sistema de processamento de informação georeferenciada) (França, 2002, Morais et.al. 2005).

Do ponto de vista da complexidade e diversidade de sistemas lacustres na planície aluvial, no setor entre Aruanã e Luiz Alves, nos segmentos 5 a 9 ao longo de aproximadamente 256 km de extensão, foram quantificados nas unidades geomorfológicas I e II, 293 lagos de 10 categorias: lagos de canal abandonado, canal abandonado encadeado, oxbow, oxbow colmatados, oxbow composto, espira de meandro, espira de meandro composta, diques marginais, vale bloqueado e lagos de acreção lateral (Morais et al 2005) (Figura 21).

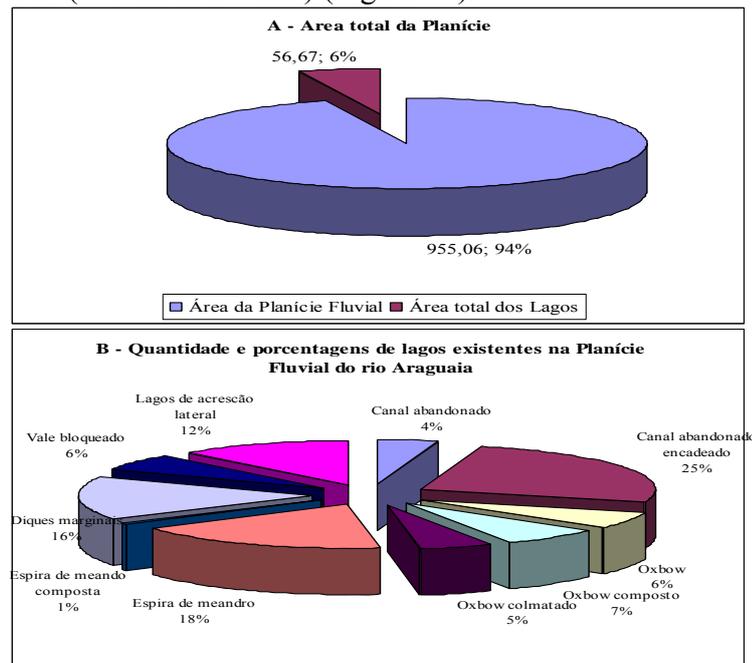


Figura 21: A – Área total da planície aluvial e B – Quantidade e porcentagens de lagos existentes na planície aluvial do rio Araguaia, entre Aruanã e Luiz Alves (médio curso), englobando os segmentos 5 a 9 da planície.

As unidades geomorfológicas que formam a planície aluvial do rio Araguaia são caracterizadas por processos agradacionais (Latrubesse e Carvalho, 2006) e pela forte influência de processos lacustres associados a áreas de escoamento impedido e paleocanais. Os lagos formados nessa planície diferenciam-se fisiograficamente pela origem geomorfológica que os constituem e que condicionam sua estrutura morfométrica, enquanto, a variação entre as estações úmida e seca se constitui no principal fator que influencia o grau de conectividade destes sistemas com o canal principal (Morais, et.al. 2005).

As inundações de grande porte, como a do Tipo A, acontecidas em 1980 e 1983 produzem grandes volumes de água que são armazenadas temporariamente na planície aluvial. O armazenamento está favorecido pela existência de um sistema de lagos, e também, pela saturação da planície. O transbordamento do canal favorece a

conectividade com a planície, beneficiando as trocas de fluxos de água e sedimentos entre o canal e os lagos da planície do Araguaia, aumentando, possivelmente, a quantidade de carga sedimentar dos sistemas lacustres presentes.

A dinâmica hidrológica entre estações úmida e seca apresenta diferentes magnitudes temporais e espaciais, que contribuem para ressaltar a heterogeneidade desses ambientes em termos hidrológicos e limnológicos. Os lagos presentes na planície aluvial do rio Araguaia se constituem em importantes amortecedores energéticos do sistema fluvial, pois atuam como reservatórios naturais.

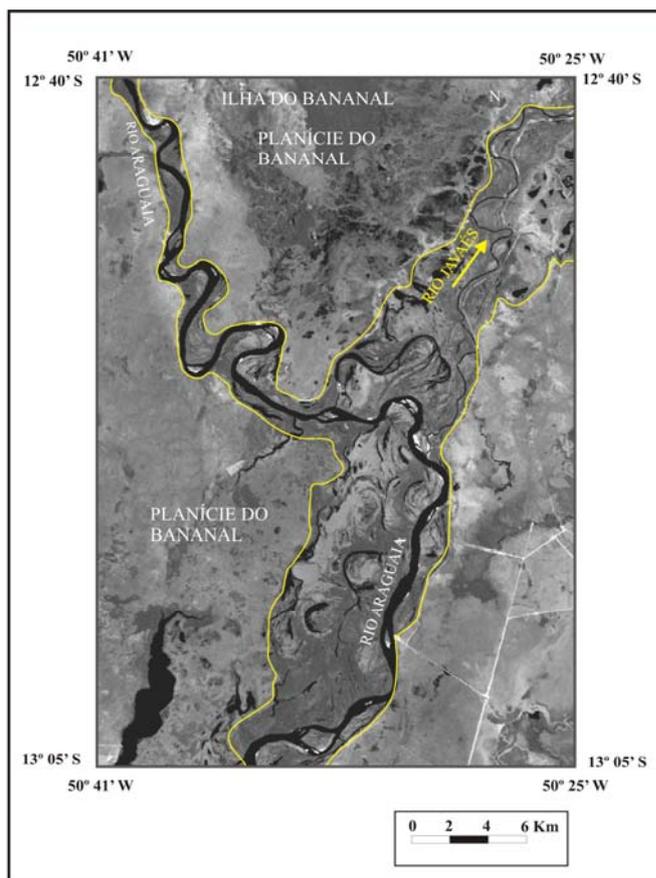
5.3. As Perdas no Rio Javaés e sua Dependência das Vazões do Rio Araguaia.

O rio Araguaia após percorrer 750 km (médio curso), na finalização do segmento 9 e início do 10, divide-se em dois braços: O Araguaia e o Javaés, formando a Ilha do Bananal, considerada como a maior ilha fluvial existente (Figura 22). No final da Ilha do Bananal, o rio Javaés, após percorrer aproximadamente 350 km, volta a se unir ao rio Araguaia na forma de um novo afluente.

O rio Javaés é um rio sub-adaptado que escoar dentro de um braço abandonado do Araguaia. É considerado como um rio sem cabeceira, que nasce a partir de outro rio, constituindo-se em total dependência com a dinâmica fluvial do Araguaia.

Assim como o Araguaia perde vazão na sua planície aluvial durante cheias importantes, o segundo local de transposição de fluxos acontece onde o Javaés se origina a partir do rio Araguaia. Durante cheias, o canal do Araguaia transfere um importante volume de águas para o Javaés, podendo chegar a derivar até 8 % de seus fluxos.

O Araguaia se conecta ao Javaés através de uma estreita boca parcialmente bloqueada por bancos de areia que impedem uma conexão mais direta. O rio Javaés transcorre em um pequeno curso dentro de uma planície aluvial consideravelmente maior que o canal, herdada do Araguaia e, bem mais a jusante, recebe alguns tributários pela margem direita da bacia. Durante a estação seca pode ficar com valores de vazão de aproximadamente 9,5 m³/s, equivalente a 10cm de cota fluviométrica, enquanto na estação de cheia, pode chegar a ter uma vazão de 2.173 m³/s como registrado na estação fluviométrica Barreira do Pequi a jusante da sua origem.



Fonte: Labogef

Figura 22: Imagem Landsat TM-1997 mostrando a derivação do rio Araguaia para o braço menor do Araguaia - Rio Javaés.

A Figura 23 mostra o perfil longitudinal do rio Javaés e sua conexão com o Araguaia enquanto que na Figura 24 se correlacionam os fluxos da estação Luiz Alves, no rio Araguaia e a estação Barreira do Pequi, no rio Javaés.

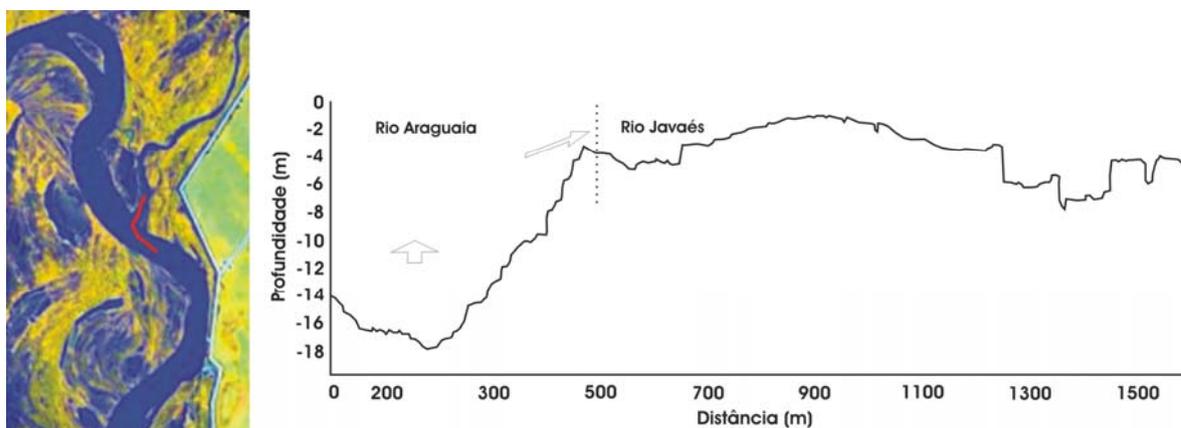


Figura 23: Perfil longitudinal batimétrico na entrada do canal do rio Javaés obtido entre 08/04/ a 14/04/2005 com uma ecosonda digital com GPS acoplado. As setas indicam a direção do fluxo de água. O valor zero indica a posição da lamina de água. A linha pontilhada vertical indica o limite entre o canal do rio Araguaia com a do Javaés. O traçado vermelho na imagem Landsat ETM+ 7, no período de cheia do rio Araguaia, indica a derivação de águas do rio Araguaia para o rio Javaés.

Basicamente, o rio Araguaia transfere descargas ao Javaés em duas etapas. A primeira ocorre quando o rio Araguaia, na estação Luiz Alves alcança uma vazão de aproximadamente 2.000 m³/s, correspondente à cota fluviométrica de 3,80m, dando início ao desvio de fluxos e a conectividade entre os dois sistemas, fazendo com que o Javaés tenha um leve aumento de vazão (Figura 24). Este valor se atinge quando o Araguaia atinge aproximadamente o valor de cota do leito do Javaés como indicado na Figura 23. O segundo transbordamento acontece quando o rio Araguaia, em Luiz Alves, alcança um valor de vazão de 3.500m³/s (aproximadamente 7,10 m de cota) e consegue transpor a barreira imposta por bancos de areia inseridos próximo a boca do canal do Javaés, transferindo, assim, grandes descargas para este rio.

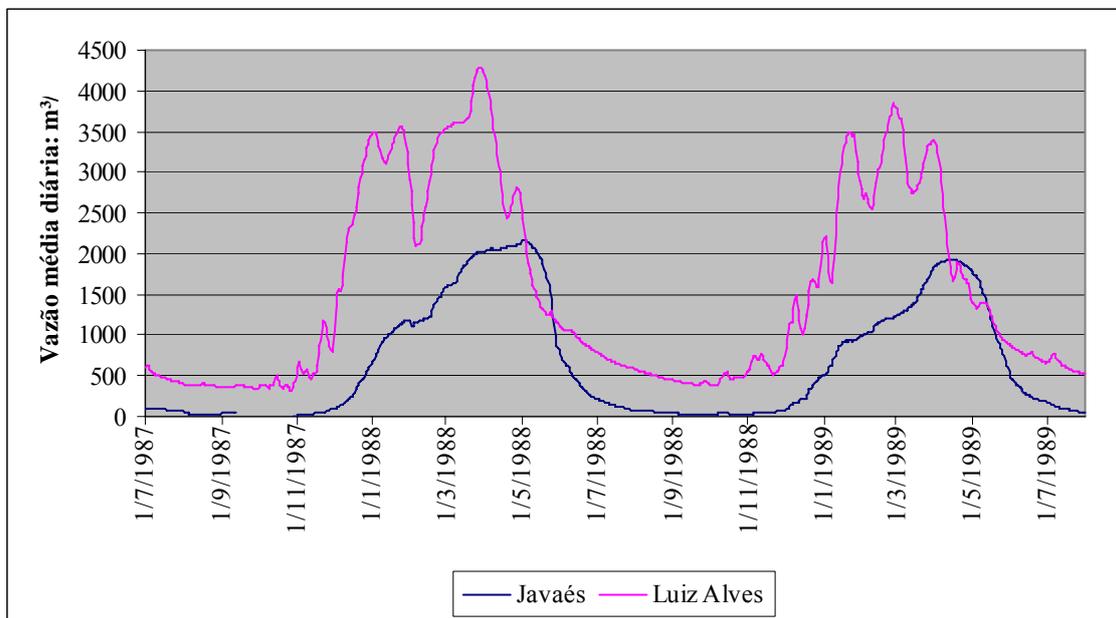


Figura 24: Correlação de vazão média diária para a estação de Luiz Alves, no rio Araguaia e a estação Barreira do Pequi, no rio Javaés.

Considerações Finais

Um conceito fundamental em Ecologia fluvial é que pulsos de cheias formam litoral móvel (“moving litoral”) que afetam a planície de inundação, favorecem a conectividade e incrementam a produtividade (Junk et.al. 1989). Porém, é sabido que planícies aluviais são formadas por um mosaico de biótopos lênticos e lóticos de complexa disposição espacial e, autores como Ward e Stanford (1995) sugerem uma

seqüência relativa de conectividade dos corpos de água da planície aluvial com o canal principal do rio, em relação a atributos estruturais e funcionais dos corpos de água dentro da planície aluvial e dependente da complexidade hidrogeomorfológica da mesma.

O regime hidrológico do Araguaia é dependente do clima dominante quente/semi-úmido. Os picos de cheias se definem entre os meses de janeiro a maio (período de chuvas) e período de vazantes entre junho e setembro e, portanto, o Araguaia possui uma marcante periodicidade (*timing*). Como em outros grandes sistemas fluviais os picos máximos de descargas apresentam-se suavizados a jusante com a eliminação de picos secundários (repiquetes).

No alto e baixo cursos há intensa variabilidade entre picos máximos e mínimos de vazões, enquanto no médio curso, essa oscilação de vazões é suavizada pela planície aluvial presente neste trecho do rio.

De forma geral, o regime hidrológico do Araguaia é relativamente simples, mas, quando se enfatiza a relação área de drenagem/vazão máxima anual observa-se que o rio possui uma distribuição atípica de vazões à medida que flui a jusante, pois durante as cheias extremas, como aconteceu no ano de 1980, o sistema tende a perder vazão, com perdas do início do médio curso até Fazenda Telésforo.

Uma análise mais detalhada permitiu identificar três tipos de modelos de cheias classificadas como tipos A, B e C e diferenciar dois mecanismos particulares de armazenamento e transferência de fluxos que explicassem as perdas no curso médio.

O primeiro mecanismo é o armazenamento de água na planície aluvial e particular nas cheias de grande porte (Tipo A) onde até 28 % da vazão pode ser transferida entre Aruanã e Luiz Alves. Uma complexa planície aluvial com uma variedade de sistemas lacustres permite o armazenamento destes grandes volumes de água. O segundo mecanismo é a derivação de águas do Araguaia ao Javaés, que se inicia quando na estação Luiz Alves os fluxos são superiores a 2.000 m³/s.

Porém, como observado nas curvas de permanências, estes fluxos são de curta duração, ou seja, grandes volumes são armazenados na planície aluvial em curtos períodos de tempo. A recorrência dos eventos como o de 1983 poderia ter um tempo de recorrência relativamente alto.

Quando comparamos o tempo de permanência das inundações vemos que, embora sendo de curta duração, elas perduram substancialmente maior quantidade de tempo no meio Araguaia que no alto e baixo curso, onde não existe uma planície aluvial

melhor desenvolvida. Este é um fator importante a ter em consideração dentre os fatores que garantem a subsistência dos ecossistemas aquáticos na planície aluvial.

De uma forma geral, as permanências dos valores de vazões médias anuais da série de todo o canal do rio Araguaia possuem valores de duração de fluxos semelhantes entre si. Os valores se diferenciam quando se considera as vazões de margens plenas ou maiores, que no alto curso só atingem duração de menos de 7 dias no canal, enquanto as do médio Araguaia, alcançam entre 18 e 51 dias, e as do baixo curso em torno de 37 dias. As cheias são de curta duração, embora sejam marcadamente mais longas no médio curso, onde existe uma planície aluvial bem desenvolvida em oposição ao que ocorre no curso inferior e superior do Araguaia.

O papel ecológico desta enchente Tipo A e o seu efeito de “inercia” sobre os ecossistemas aquáticos, ainda tem que ser estudado em detalhe.

Partindo do ponto de vista da ecologia fluvial, fica bem identificado que em função do seu funcionamento hidrológico particular, os ecossistemas aquáticos da planície aluvial são altamente dependentes das cheias do rio Araguaia e, episodicamente são capazes de armazenar imensos volumes de água no sistema.

Porém, estes dados são muito conservativos e subestimam as perdas já que as mesmas podem ser maiores que o indicado, pelo simples balanço entre as estações mencionadas, devido a que grandes afluentes como rio Crixás e rio do Peixe se juntam ao Araguaia entre Aruanã e Luiz Alves.

Lamentavelmente, a falta de estações fluviométricas na bacia, as quais, quando existem, não estão localizadas no baixo curso dos afluentes, impede a obtenção de um balanço preciso do “input” dos afluentes nos modelos de transmissão de cheias aqui postulados. Por exemplo, o Rio Crixás e o Rio Peixe produzem um incremento de 52% da área de drenagem entre Aruanã e Luiz Alves a respeito da área da bacia, passando de 76.964km² até 117.580 km². As estimativas de vazão média anual para estas bacias indicam um aporte médio anual de 400m³/s, ou seja, um incremento de 30% do valor registrado em Aruanã (Aquino, 2007a).

Modelos hidrológicos adicionais tendo em conta estimativas de vazões dos tributários e seus aportes durante as cheias são uma necessidade para o melhor entendimento das interações rio/planície e o seu papel na manutenção ecológica dos ecossistemas da planície aluvial, assim como, seria desejável a complementação dos modelos hidrológicos com modelos de transferência de sedimentos e nutrientes, sobre o efeito das cheias nas variáveis e parâmetros limnológicos físico-químico dos sistemas

lacustres.

A respeito dos mecanismos de perda de vazão e armazenamento de água na planície aluvial do Araguaia entre Aruanã e Luis Alves (segmentos 5 a 9), podemos concluir que três são os principais fatores condicionantes: a) a existência de uma planície aluvial bem desenvolvida composta por várias unidades geomorfológicas, b) a existência de um complexo sistema de lagos na planície aluvial, c) uma vegetação predominantemente arbórea sobre a planície aluvial, que freia a onda de cheia e contribui para o armazenamento de água na planície aluvial.

A conexão entre os pulsos de cheias e a planície aluvial começa quando o rio atinge a cota 3,8 em Aruanã, o que coincide com o valor de “bar full”, ou seja quando as barras arenosas ficam cobertas, e se faz total quando supera a cota de margens plenas de aproximadamente 5,8m, quando os diques marginais começam a ficar totalmente cobertos pelas águas de inundação. Se consideramos que o pulso de cheias no médio Araguaia entre Aruanã e Luis Alves começam quando o rio atinge a cota 3,8 na estação Aruanã, tem uma duração média de aproximadamente 20%, enquanto os valores superiores a cota de margens plenas tem uma duração média de 5%.

O segundo fator de perda na transmissão de fluxos entre Luiz Alves e Fazenda Telésforo (segmentos 9 e 10) é o rio Javaés, o qual flui sobre um paleocanal do rio Araguaia como um sistema sub-adaptado. Este rio está quase isolado do Araguaia por uma barra de sedimentos arenosos, e se conecta ao mesmo por um estreito canal. O alto Javaés não possui cabeceiras desenvolvidas e depende diretamente da alimentação das vazões de transbordamento do Araguaia em duas etapas: a primeira quando se atinge a cota necessária para alimentar o pequeno canal do Javaés e segundo quando o Araguaia consegue sobrepassar a cota do obstáculo que representa a barra arenosa que o isola da mais extensa planície aluvial por onde circula.

A partir dos resultados aqui expostos se percebe que os distintos tipos de cheias e sua inter-relação com o comportamento hidrogeomorfológico da planície aluvial, é de importância fundamental na manutenção ecológica dos seus biótopos.

Os resultados apresentados sobre o rio Araguaia demonstram que a constituição geomorfológica particular da bacia e a distribuição e arquitetura da planície aluvial produz efeitos característicos na hidrologia do sistema e confirma que o regime hidrológico do rio Araguaia se comporta diferenciadamente no alto, médio e baixo curso. Assim mesmo sustentam que um modelo de conectividade baseado num litoral móvel (movil litoral) é insuficiente e simplista na hora de descrever e entender os

processos complexos hidrogeomorfológicos que mantêm uma série de ecossistemas aquáticos numa planície aluvial destas dimensões e com uma certa complexidade geomorfológica.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, ao Nupelia e Gema/UEM, ao Labogef/UFG e ao Serviço Geológico do Brasil e Agência Nacional de Águas, pelo fornecimento de dados hidrológicos. Este trabalho é uma contribuição da Rede CABAH XII K CYTED/CNPq e Projeto: Land Use Impacts on the Water Resources of the Cerrado Biome subsidiado por NASA/LULCC.

Bibliografia

- Aquino, S. 2007a. Caracterização Hidrológica e Geomorfológica da Bacia do Rio Araguaia. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Maringá. Programa de pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos.
- Aquino, S. Stevaux, J.C e Latrubesse, E. M. Características hidrológicas e aspectos morfo-hidráulico do rio Araguaia, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7 (1), 99-111.
- Araujo, F. R. 2002. Controle Abiótico da Vegetação da Planície Aluvial do Rio Araguaia. Relatório PIBIC. UFG/IESA, 25p.
- Arruda, M., Dias, A. Latrubesse, E.M. Galinki, M. 2000. Projeto Corredor Ecológico Bananal/Araguaia. Ibama: Publicação especial. 120 p.
- Baker, V. 2003. Paleofloods and extended discharge records. Em: *Paleohydrology, understanding global changes* (Gregory, K e Benito, G. eds.), Wiley, 307-323.
- Bayer, M. 2002. Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho. Dissertação de Mestrado. Goiânia: UFG-IESA. 138p.
- Casco, S.L. Chiozzi, N., Neiff, J.J. 2005. La vegetación como indicador de la

- geomorfologia fluvial. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6 (1), 123-136.
- Dunne, T. & Leopold, L. B. 1998. *Water in Environmental Planning*, New York: W.H.Freeman and Company. 818p.
- França, A. M. S. 2002. Ordenamento Geomorfológico dos Sistemas Lacustres da Planície do Rio Araguaia. Monografia. UFG-IESA: Goiânia-Go. 50p.
- Junk, W.J., Bayley, P.B., e Sparks, R.E. 1989. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: D.P.odge (Ed). *Proceedings of the International Large River Symposium. Can.Spec.Public. Fish. Aquat. Sci.* 106: 110-127.
- Kalliola R., Salo J., Puhakka M., Rajasilta M., Hame T., Neller R.J., Rasanen M.E. e Arias W.A.D. 1992. Upper Amazon Channel migration – implications for vegetation perturbation and succession using bitemporal Landsat MSS images. *Naturwissenschaften*, 79, 75–79.
- Latrubesse, E. e Stevaux, J. C. 2002. Geomorphology and Environmental Aspects of Araguaia Fluvial Basin, Brazil. *Z. Geomorphologie. Suppl.-Bd.* 129: 109-127.
- Latrubesse, E.M. Carvalho, T. 2006. Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. Superintendência de Geologia e Mineração, Estado de Goiás, 127p.
- Latrubesse, E.; Stevaux, J.C.; Sinha, R. 2005. Tropical Rivers, *Geomorphology*, 70, 137-206.
- Mertes, L.A.K. 1994. Rates of flood-plain sedimentation on the central Amazon River. *Geology*. V. 22, 171-174p.
- Mertes, L.A.K., Daniel, D.L., Melack, J.M., Nelson, B. Martineli, A. e Forsberg, B.R.1995. Spatial patterns of hidrology, geomorphology, and vegetation on the floodplain of the Amazon River in Brazil from a remote sensing perspective. In: *Geomorphology*. Elsevier Sciences. 13: 215-232.
- Morais, R. P. 2002. Mudanças Históricas na Morfologia do Canal do Rio Araguaia no trecho entre a Cidade de Barra do Garças (MT) até a foz do Rio Cristalino na Ilha do Bananal no Período entre as Décadas de 60 e 90. *Dissertação de Mestrado*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Sócio-ambientais. 176p.
- Morais, R.P., Oliveira, L.G., Latrubesse, E.M., Pinheiro, R.C.D. 2005. Morfometria dos Sistemas Lacustres da Planície Aluvial do Médio Rio Araguaia. *Acta Sci. Biol. Sci.* V 27. n 3. p. 203-213.
- Morais, R.P. 2006. A Planície Aluvial do Médio Araguaia: processos geomorfológico e suas Implicações Ambientais. *Tese de doutorado*, CIAMB-Universidade Federal de Goiás.
- Neiff, J.J., Iriondo, M., Carignano, R. 1994. Large Tropical South American

- Wetlands and overview. *Proc. of the Internat. Workshop on the Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones*, 156-165.
- Neiff JJ. Casco, S.L., Orfeo, O. 2005. Método para la medición de la conectividad entre procesos hidrológicos y geomorfológicos en ríos entrelazados. *Revista Brasileira de Geomorfología*, 6 (1), 75-84.
- Nordin, C. F. Jr. e Hernandez, D. 1989. Sand Waves, Bars and Wind-Blown Sands of the Rio Orinoco, Venezuela and Colombia., *United States Geological Survey Water - Supply Paper*, 2326A.
- Poff, H.L, Allan, D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D. Sparks, R.E. e Stromberg, J.C. 1997. The Natural Flow regime: A Paradigm for Rivers Conservation and Restoration. *Bioscience*, vol. 47, n.11. p: 769-784.
- Poff, H.L. Allan, J.D., Palmer, M.A., Hart, D.D., Richter, B.D., Arthington, A.H., Rogers, K.H., Meyer, J.L., Stanford, J.A. 2003. River Flows and Water Wars? Emerging Science for Environmental Decision-making. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 1: 298-306.
- Poff, H.L. Olden, J.D., Pepin, D.M., Bledsoe, B.O. 2006. Placing Global Stream Flow Variability in Geographic and Geomorphic Contexts. *River Research and Applications*. 22: 149-166.
- Richter, B.D. Baumgartner, J.V., Wigington, R., Braun, D.P. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology*. 37: 231-249.
- Richter, B.D. Mathews, R., Harrison, D.L. Wigington, R. 2003. Ecologically Sustainable Water Management: Managing River Flows for Ecological Integrity. *Ecological Applications*. 13: 206-224.
- Richey, E. J., Mertes, L.A.K., Dunne, T., Victoria, R.L., Forsberg, B.R., Tancredi, A.C.N.S. e Oliveira, E. 1989. Sources and Routing of the Amazon River Flood Wave. In: *Global Biogeochemical Cycles*. Vol 3, n 3:191-204.
- SGM-Superintência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás. 2006. Caracterização Climática do Estado de Goiás. Por: Silva, S.C., Santana, N.M.P. e Pelegrini, J.C. Secretaria de Indústria e Comércio. Goiás.
- Thomaz, S. M., Roberto, M.C. e Bini, L. M. 1997. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: Vazzoler A.E.A.M., Agostinho A.A., Hahn N.S. (eds.). *A Planície de Inundação do Alto Rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos*. Maringá, EDUEM.
- Tundisi, J G. Tundisi, T.M. e Rocha, O. 2002. Ecossistemas de Águas Interiores. In: *Águas doces no Brasil: capital Ecológico, uso e conservação*. 2.º Edição Revisada e Ampliada. Escrituras. São Paulo - 2002. Organização e Coordenação Científica: Aldo da C. Rebouças; Benedito Braga. P: 184 - 186.

Ward, J.V. & Stanford, J.A. 1995. Ecological Connectivity in Alluvial River Ecosystems and Its Disruption by Flow Regulation: *Regulated Rivers: Research & Management*, vol. 11, 105-119p.

Werneck Lima, J.E.F., Dos Santos, P.M.C, Carvalho, N.O., da Silva, E.M. 2003. Araguaia-Tocantins: Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia. Brasília: *Embrapa*, ANEEL, ANA. 116p.

Dinâmica das Formas de Leito e Carga de Sedimentos em Suspensão no Médio Rio Araguaia e sua Relação com as Mudanças no Uso da Terra no Cerrado

Resumo

O conhecimento das características e da dinâmica das formas de leito dos grandes rios é de grande interesse tanto nos estudos geomorfológicos e de hidráulica fluvial, como também para dar suporte em vários problemas concernentes às ciências ambientais que envolvem o gerenciamento dos recursos hídricos.

O presente trabalho contempla o transporte de carga de fundo no Médio rio Araguaia, na estação fluviométrica de Aruanã, a determinação da carga em suspensão e o cálculo da vazão efetiva, avaliando seu comportamento a partir da década de 70.

Estimativas do transporte de carga de fundo (Q_{sf}) pelo método do deslocamento de dunas indicam que em Aruanã as dunas se movimentam entre 7 e 12 m/d. No período de margens plenas de março de 2003, o transporte foi de 4.370t/d. Os cálculos de transporte total (G_s) foram estimados desde a década de 70 e indicam um incremento de 28% até os tempos atuais, onde o rio transporta uma média de mais de 8 mt/a.

O transporte de carga de lavado (wash load) ou desde o ponto de vista da geomorfologia, a carga e suspensão, foi estimada em 4.6 Mt/ano para o período 2000-2004.

A análise de vazão efetiva (Q_{ef}) também demonstrou que a vazão mais eficiente para realizar transporte e ajustar a geometria do canal tem variado ao longo do tempo se incrementando de 1.775m³/s a 2.954m³/s durante tempos recentes.

Todos estes resultados indicam mudanças importantes no transporte de sedimentos do Araguaia, sugerindo que este aumento no transporte de sedimentos de fundo e da vazão efetiva obedece a respostas do sistema fluvial frente a cenário de destruição do Cerrado.

Abstract

The study of bed load transport and bed morphology in large alluvial rivers is important in geomorphologic studies and hydraulic engineering. More recently these approaches also are being applied successfully in the analysis of environmental impact assessment. The paper synthesis results from Aruanã gauge station area in the Middle Araguaia River. At this station bed load transport, wash load transport and the behavior of effective discharge since 1970 was analyzed.

Bed load transport (G_{sf}) was estimated by the method of dune translation. The dunes near 0,8m height move 7 to 12 m/day. In March 2003 during bankfull stage bed load estimation was 4370t/d. Total bed load transport (including suspended sand) increases 33% since 1970 to present. The average of the years 2000-2004 is more than 8,5Mt/y.

The wash load was estimate to be 4,6Mt during the last 4 years excluding the dry-lower stage year of 2001. The effective discharge increased from 1775m³/s to 2954m³/s since 1970.

All these results indicates that the transport of sediments increased as response to the extraordinary environmental impacts such as huge rates of deforestation and land use changes the Cerrado basin is suffering during the last decades.

Palavras chaves: rio Araguaia, dunas, carga de sedimentos em suspensão e de fundo, vazão efetiva.

Key words: Araguaia River dunes, sediment load, wahs load, bed load, effective discharge

1. Introdução

O rio Araguaia faz parte da bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins que é considerada como um dos sistemas fluviais mais importantes da América do Sul. Vários aspectos fazem dessa bacia uma área de particular interesse para as pesquisas de ambientes fluviais. Sua área de drenagem inclui duas das mais espetaculares regiões fitogeográficas que concentram boa parte da biodiversidade do planeta: o cerrado e a floresta Amazônica. Parte da bacia está inserida na planície do Bananal que é uma das maiores e desconhecidas áreas de sedimentação fluvial do continente, considerada como uma área úmida prioritária para conservação.

O rio Araguaia tem sido alvo de discussões políticas, sociais e científicas na Região Centro-Oeste. Essas discussões têm como ponto central os projetos do governo estadual de Goiás, que pretende incentivar planos de gestão sobre desenvolvimento regional, desenvolvimento sustentável e expansão do ecoturismo. Por outro lado, do ponto de vista do gerenciamento foram propostos planos contrastantes de manejo da bacia como a hidrovía Araguaia/Tocantins e o corredor Ecológico Araguaia-Bananal assim como, o planejamento para a construção de hidroelétricas ao longo do seu curso.

Estudos sobre o rio, abordando diferentes focos de análises, estão sendo realizados em parcerias entre vários pesquisadores da Universidade Estadual de Maringá e Universidade Federal de Goiás que fazem parte do “Grupo de Pesquisas Sistemas Fluviais e Meio Ambiente” do CNPq e estão envolvidos em distintas áreas de conhecimento das ciências da terra, biologia, engenharia. Com a finalidade subsidiar a tomada de decisões e implementação de planos de gestão da região, fornecendo informações para o tipo de manejo que pode ser feito neste sistema fluvial, tais como: viabilidade de implantação da hidrovía e represas, ecologia e biodiversidade em ambientes aquáticos, corredores ecológicos, reflorestamento das margens, entre outros.

Porém, com relação ao rio Araguaia, pouco ainda se conhece sobre a sua carga de sedimentos e taxas de erosão/sedimentação, assim como da história evolutiva de sua planície aluvial. O conhecimento das características da dinâmica dos rios é de grande interesse não apenas no conhecimento da geomorfologia e da hidráulica fluvial, mas também, em relação a vários problemas concernentes à ecologia de ambientes aquáticos.

Estudos recentes têm demonstrado que o uso inadequado das terras da alta bacia tem provocado mudanças morfológicas e modificações na dinâmica fluvial no rio Araguaia durante as últimas quatro décadas. O canal é muito ativo, e altas taxas de

deposição e erosão em ilhas e bancos foram registradas para esse período por Bayer (2002), Latrubesse e Stevaux (2002), Morais (2002, 2006), Morais e Latrubesse (2000).

Se realmente a dinâmica fluvial está sendo modificada pelo incremento da carga de sedimentos produzida pela expansão da fronteira agrícola e pelo uso inadequado do terreno, seria necessário conhecer o transporte de sedimentos sobre o canal principal e os mecanismos de transferência de sedimentos na planície aluvial.

Estudos mais concretos no rio Araguaia sobre as características do transporte de águas e sedimentos tanto no canal principal como no sistema rio-planície de inundação se tornam então uma necessidade.

Este artigo tem como objetivos quantificar o transporte de sedimentos de fundo e em suspensão ao longo do canal, como também avaliar a existência de mudanças nas taxas de transporte de sedimentos. Além disso, se pretende discutir quais são as vazões mais eficientes para transportar sedimentos, assim como, para ajustar a morfologia do canal através do conceito de vazão efetiva (Q_{ef}), e relacionar ao longo do tempo, possíveis mudanças na vazão efetiva como consequência das drásticas mudanças na cobertura vegetal e uso da terra na bacia durante as últimas décadas.

2. Área de Estudo

A área de estudo está inserida no médio rio Araguaia, delimitada em um trecho de planície aluvial do médio curso, na localidade de Aruanã, pertencente ao Estado de Goiás (Figura 1), nesse trecho de cerca de 76.300 km² de bacia hidrográfica está situada a estação fluviométrica de Aruanã.

O trecho pesquisado do rio Araguaia concentra um dos principais pontos turísticos do Estado de Goiás, sustentado pela utilização de praias (na fase de estiagem) e pesca esportiva, além de fazer parte de uma área úmida de grande importância para a biodiversidade, onde existem diversos projetos de conservação e proteção ambiental, como por exemplo, a APA Meandros do Araguaia que ocupa 75% das áreas inundáveis do rio Araguaia e representa um dos últimos remanescente do Cerrado.

Aruanã é uma das estações fluviométricas operada pelo CPRM-GO/Serviço Geológico do Brasil, está localizada em um setor relativamente representativo dos fenômenos acontecidos na alta bacia e das sub-bacias dos rios Caiapó, Claro e Vermelho, algumas das mais impactadas pelo homem no Estado de Goiás.

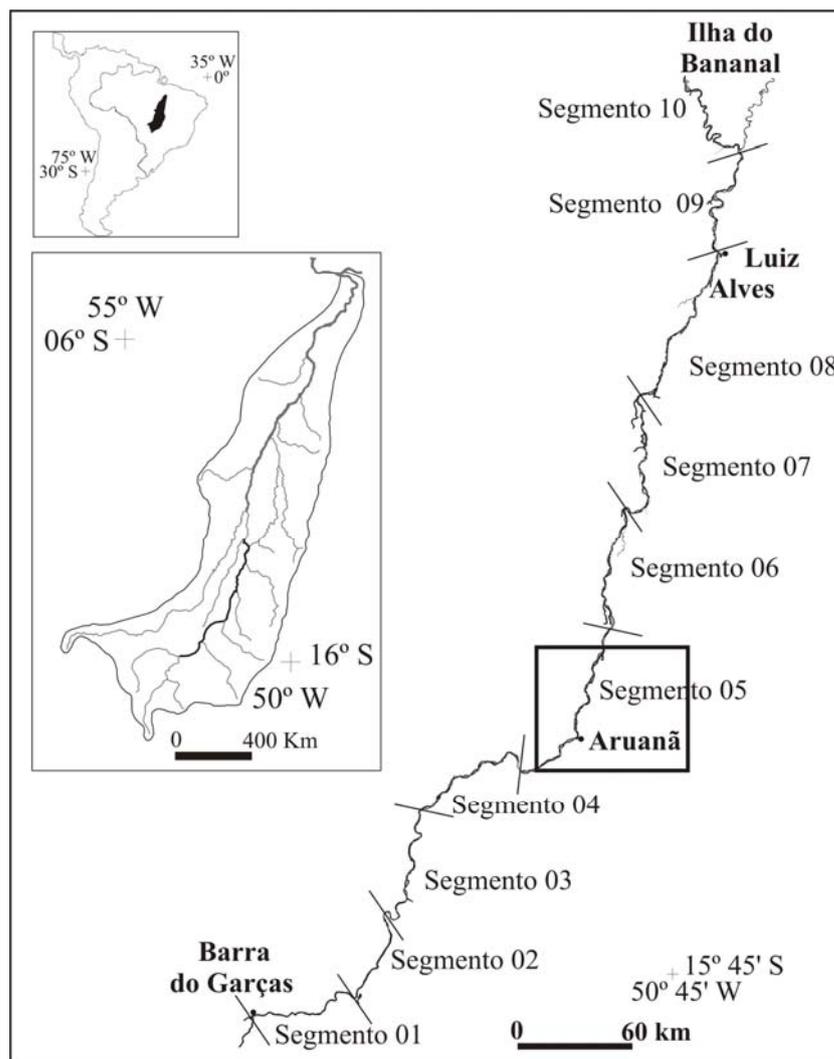


Figura 1: Localização da estação Aruanã e área de estudo. Os números representam a subdivisão em segmentos proposta por Moraes (2006) e Latrubesse et al (submetido). A estação Aruanã e o setor estudado encontram-se inseridos no segmento 5.

O Médio Rio Araguaia é considerado um rio “anabranching” com baixa sinuosidade e tendência ao entrelaçamento, que transporta abundante carga de fundo arenosa.

3. Metodologia e processamento de dados

A metodologia desta pesquisa constou de trabalhos de campo no rio Araguaia e de trabalhos de laboratório. Foi calculado o transporte de fundo, em suspensão e a vazão efetiva ao longo de três décadas na região de Aruanã, no médio Araguaia. Os métodos e resultados serão explicitados a continuação:

3.1. Quantificação da carga de fundo

Para quantificar o transporte de sedimentos de fundo (Q_{sf}) ao longo do canal, na região de Aruanã, foram utilizados dois métodos: um para estimar a carga de fundo “sensu stricto” e outro para estimar a carga total de sedimentos arenosos (de fundo e em suspensão).

A carga de fundo é a que circula pelo leito do rio, e as partículas de sedimentos podem se mover de diferentes formas dependendo da relação existente entre seu tamanho e a capacidade dos fluxos de transportá-las. Os mecanismos de transporte são: rolamento, deslizamento, saltação e suspensão. A soma total do transporte pelos distintos mecanismos mencionados representa a carga total de fundo num canal fluvial.

A carga de fundo é estimada através de equações de transporte de hidráulica fluvial, mas a carga de fundo no sentido “sensu stricto” também pode ser estimada indiretamente através de medições das morfologias móveis do fundo.

Em um canal aluvial com leito arenoso, o sedimento se move, se organiza e se movimenta segundo certos ordenamentos geométricos. As menores morfologias são ondas de pequenas tamanhos (ondulações)–*ripples*, que apresentam perfil longitudinal triangular com declividade suave em direção a montante e íngreme a jusante. As ondulações ocorrem em velocidades de fluxo ligeiramente superiores à velocidade crítica de início de movimento.

As dunas são formas de leito mais desenvolvidas chegando a atingir até 13 m de altura e comprimento superior a 1 km em grandes rios como Brahmaputra (Coleman 1969). São formas assimétricas com perfil longitudinal semelhante ao das ondulações, com declividade suave para montante e íngreme para jusante, podendo apresentar pequenas ondulações superpostas. São geradas sob condições de fluxo subcrítico.

No caso do Araguaia o transporte de fundo em Aruanã foi estimado pelo método de deslocamento de dunas e pela utilização de equações de transporte.

3.2. Método de deslocamento de dunas.

A presente metodologia vem sendo aplicada no baixo curso do rio Paraná por pesquisadores da Universidade Nacional del Litoral, Santa Fé, Argentina, (Lima *et al.* 1990, Amsler e Gaudin 1994), e foi aplicada recentemente no Alto Paraná, em território brasileiro (Martins, 2004) . O cálculo se obtém pela determinação do tamanho das dunas

e a sua velocidade de deslocamento a jusante o que permite o cálculo do volume de material por unidade de tempo (Stuckrath, 1969).

Neste estudo se selecionou um setor a jusante da estação Aruanã, o que permitiu uma relação com os dados hidrológicos da mesma. O trecho escolhido é retilíneo e nele foram selecionados 4 pontos distribuídos ao longo de uma seção transversal na parte de extremo montante (Figura 2). Estes pontos foram posicionados por GPS, considerando-se cada ponto como origem de uma seção principal ecobatimétrica, obtida com o barco navegando no sentido da corrente (progressivas).

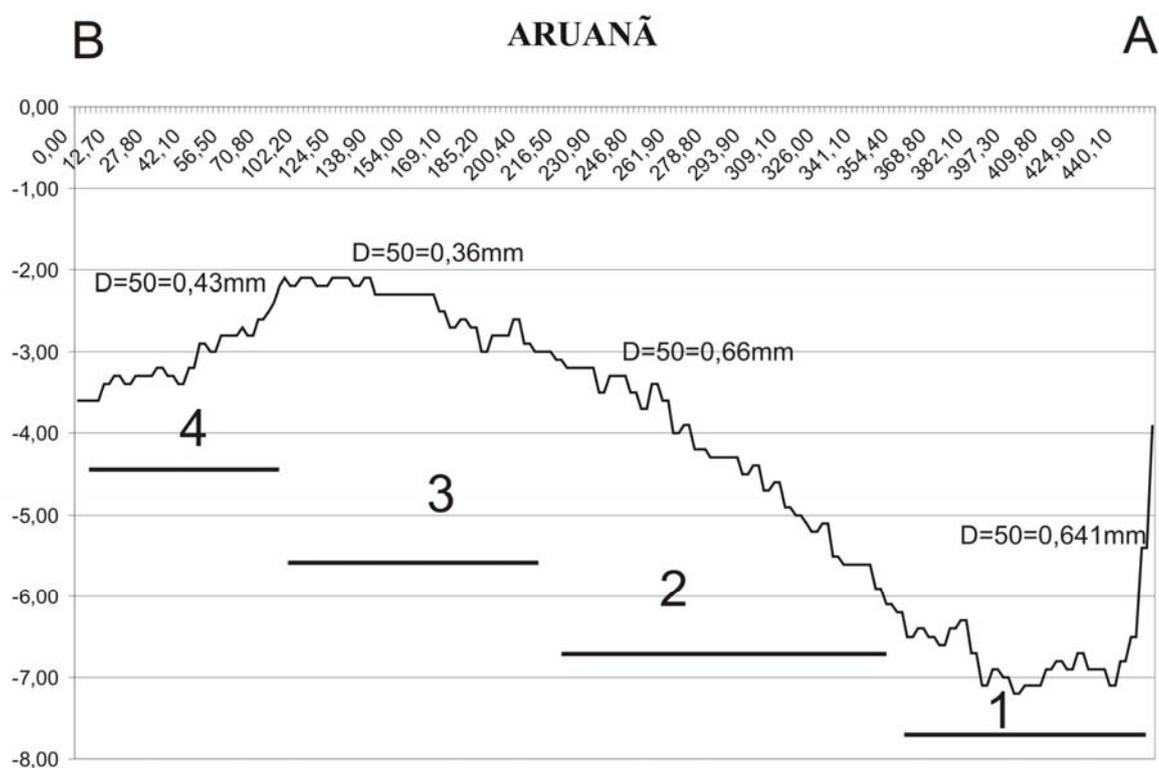


Figura 2: Seção transversal de Aruanã, médio rio Araguaia, mostrando os pontos a partir do qual se origina uma seção principal ecobatimétrica, as longitudes de influência para os cálculos de transporte de fundo (Gsf) e a distribuição granulométrica característica (d_{50}) dos sedimentos de fundo.

Enquanto, o GPS registra a trajetória do barco para determinar o registro batimétrico de cada seção. Este trabalho foi repetido após varios dias, conforme sugerido por Prendes e Amsler (2000). Neste caso foram tomadas com quatro dias de diferença.

Os valores de profundidade emitidos continuamente pelo ecobatímetro são registrados juntamente com seu posicionamento determinado pelo GPS a cada segundo, usando-se um *software* de vinculação de sonda ecobatimétrica para plotar a tempo real e gravação contínua de dados. Neste caso se utilizou o *software* Fugawi 3 que processa o

sinal e armazena os dados, os quais podem ser exportados em formato de tabelas para outros *softwares*.

O produto final é uma lista dos três elementos de posicionamento do fundo do canal: latitude, longitude e profundidade. Por meio do programa de computação "SURFER" os dados foram convertidos em perfis batimétricos georeferenciados.

O tratamento dos dados obedece a uma seqüência de cálculos que se inicia tratando cada duna (i) separadamente (seções de apoio), num segundo passo inclui-se todas as dunas de uma seção principal (n), para finalmente incluir todas as seções 1, 2, 3 e 4 que correspondem ao próprio canal.

As seções obtidas em momentos distintos são comparadas, e as dunas visualmente identificadas. Comparadas às semelhanças geométricas das dunas (altura, comprimento e forma) às identificam numericamente.

O deslocamento de uma frente "d_i" é dado pela média dos deslocamentos onde se obtém a velocidade de deslocamento (ud_i). Sendo assim: $ud_i = d_i/\Delta t$ onde d_i é o deslocamento de um frente de duna e Δt é tempo entre dois levantamentos sucessivos.

A altura média das dunas em uma seção, por sua vez, é assim obtida: $H_m = H_i/n$

Onde, H_i é a altura de cada duna da seção e n o número de dunas.

O cálculo da carga de fundo para cada seção "Cf_p" foi então: $Cf = (1 - p) k_f H_m ud_p$

A constante referente à forma da duna (k_f) varia geralmente entre 0,50 e 0,66, conforme mencionado por Struckath (1969) e Lima *et al.* (1990). Mais recentemente Amsler e Prendes (2000) optaram pela constante 0,66 após avaliarem estatisticamente uma série de dunas do médio rio Paraná.

A descarga sólida resultante do deslocamento de uma frente de duna pode ser dada da seguinte forma: $Cf_p = 0,396 H_m ud_p$

Onde, 1-p = 0,6 e 0,66 o coeficiente de forma de duna k_f.

A descarga de fundo total, dada em unidade de largura é a média ponderada pela largura de abrangência de cada seção. Assim, Cf será obtido pela equação:

$$Cf = \sum Cf_p \times L_p / \sum L_p$$

Onde, L_p é a abrangência de cada seção A, B, C e D. Neste caso o valor de Cf será dado em m³/dia.

Os sedimentos de fundo do Araguaia foram amostrados por meio da utilização de draga de Peterson modificada. Um total de 20 amostras foram analisadas por peneiramento e por meio da utilização de um granulômetro laser mastersizer 2000. As granulometrias do fundo estão caracterizadas por areias grossas e médias. O tamanho médio (d50) característico para cada setor da seção de estudo é apresentado na figura 2

O transporte de fundo em Aruanã foi estimado pelo método de deslocamento de dunas. A figura 3 mostram o setor estudado e as 4 progressivas de dunas obtidas. A primeira campanha foi realizada no dia 5 de março de 2003, quando o rio Araguaia tinha uma cota de 430 cm e uma vazão de 1.900 m³/s na estação Aruanã, enquanto, a segunda campanha foi realizada no dia 9 de março de 2003 com cota 424 e vazão correspondente de 1.857 m³/s. A figura 3 mostra o local de obtenção dos dados e a seção transversal no ponto de início das distintas progressivas.

Como fora mencionado, a seção foi dividida em quatro zonas de influência para poder quantificar o transporte individual de cada uma delas, e posteriormente obter a somatória da seção (Figura 3).

A figura 3 mostra um exemplo da superposição das formas de leito nas duas datas mencionadas. A tabela 1 mostra os valores médios de altura e deslocamento de dunas obtidos para as diferentes progressivas entre as duas campanhas em m²/d. Pode-se ver que o tamanho médio de todas as dunas registradas é de 0,8m de altura e o deslocamento médio de 11,6 m/dia.

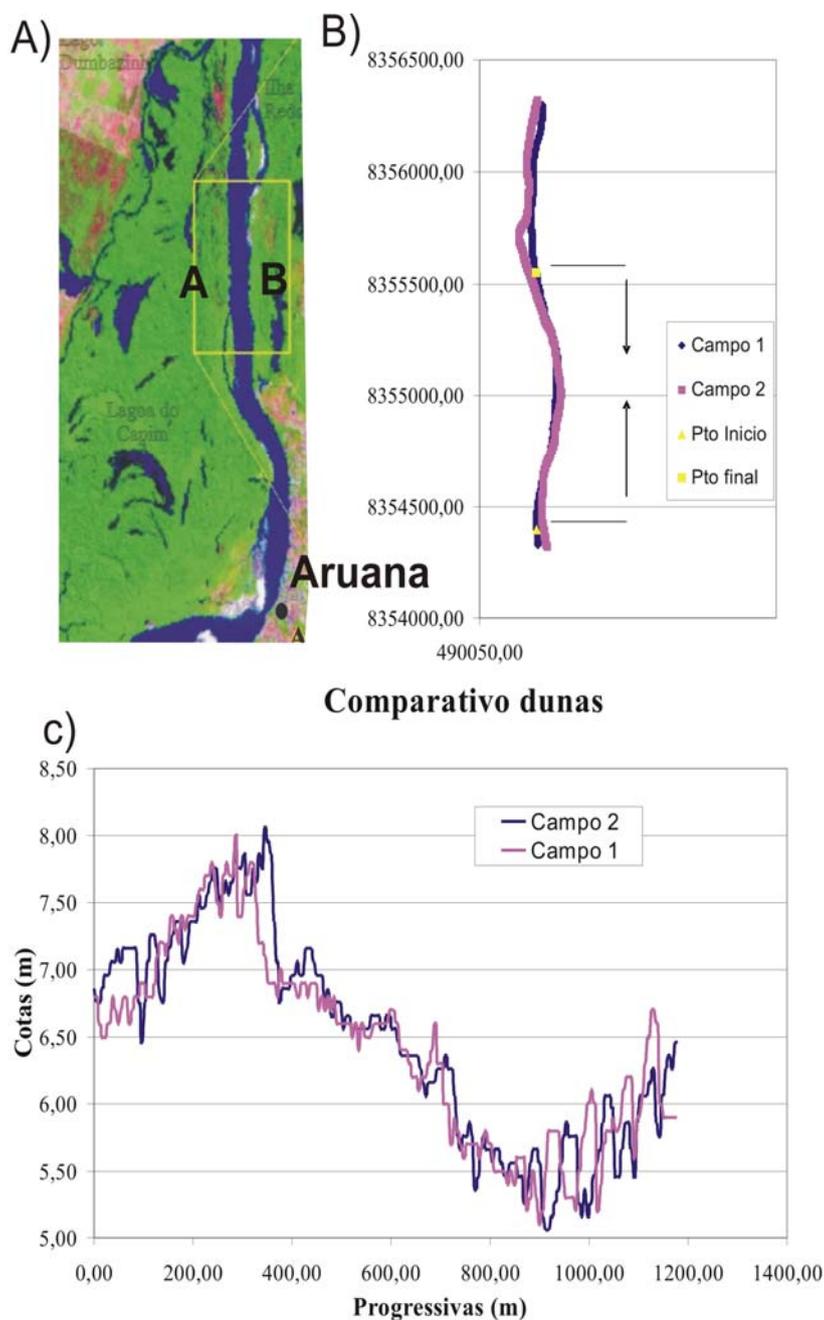


Figura 3: A) Ponto de localização da seção ecobatimétrica. B) Sobreposição dos perfis ecobatimétricos feitos em diferentes campanhas. C) Comparação das dunas.

Para cada progressiva foi dada uma longitude de influência na seção transversal e os valores obtidos para cada progressiva foram multiplicados pela largura do setor de influência correspondente, obtendo-se o valor em m^3/d .

Para chegar ao resultado final em unidade de massa se multiplicou o valor anteriormente obtido por 2.650 kg/m^3 , valor referente à densidade do quartzo.

O transporte total indica uma quantidade de 4.387,6 toneladas/dia de areias passando pela seção estudada, com um valor de vazão de $\sim 1.900 \text{ m}^3/s$.

Os valores obtidos nesta campanha foram bastante similares aos obtidos numa campanha anterior realizada em junho de 2001, através do projeto Riscos Associados à Dinâmica de Migração dos Talvegues nos Rios Araguaia (Brasil) e Paraná (Argentina): sua importância na engenharia Fluvial e nos Programas de Integração Bilateral-Vitae-Antorchas desenvolvido em colaboração entre a Universidade Federal de Goiás, Universidade Estadual de Maringá e Universidad Nacional del Litoral. Durante essa campanha, o Araguaia em Aruanã tinha uma vazão de 700-800 m³/s, as dunas se deslocavam a uma velocidade de 7m/d, e possuíam uma altura oscilando entre 1 e 1,5m.

Os valores obtidos nas duas campanhas mostram que as dunas são um pouco maiores durante vazões baixas, mas relativamente similares no que se refere a morfologia, embora, na segunda campanha o deslocamento foi maior.

Us (m/d)	H (m)	Transporte (m ² /d)	Long-infl. seção transversal (m)	Transp. por progr/long. Influência (m ³ /d)	Transporte Kg/dia
12,55	0,95	4,792	88,2	422,728	1120231,6 62
10,15	0,76	3,101	163	505,467	1339489,0 45
11,64	0,81	3,813	109,9	419,116	1110657,6 4
12,2	0,70	3,457	89,2	308,418	817307,96 08
Vel.Média = 11,635	H Média = 0,8075	Transp.Médi o = 3,791	Larg.Sec.Tra nsv = 450,3		Transp.Médio = 4387686,308

Tabela 1: Valores médios de altura e deslocamento de dunas para as diferentes progressivas

3.3. Estimativas do transporte total de fundo - Gs

Com a finalidade de estimar o transporte total de fundo (Gs), o melhor ajuste entre os dados estimados por medição de deslocamento das dunas e equações de transporte de (Gf) foi obtido com a equação de Van Rijn (1993) (LABOGEF, inédito, resultados do projeto).

Como a correlação para (Gsf) se aplicou com a equação de Van Rijn e, considerando que a equação de cálculo de carga de fundo total Gs (carga de fundo(Gsf) = carga de fundo suspensa, Gss) de Van Rijn se baseia nos mesmos princípios que a equação de Gf anteriormente mencionada, se estimou então a carga total (Gs).

Posteriormente, foi obtida uma equação de correlação com a vazão em Aruanã. A equação ofereceu um alto grau de correlação e tomou a forma de: $G_s = 0,022Q_d^{1,3118}$, com $R^2 = 0,8319$

Onde; G_s = Carga de fundo total em kg/s

Q_{md} = vazão diária em m^3/s

Finalmente com os valores de vazões diárias em Aruanã foram estimados os transportes anuais de material total do leito (G_s). Os valores entre 1971 e 1998 foram estimados pelo projeto anteriormente mencionado, enquanto que os valores referentes ao transporte nos anos de 1999 a 2004 foram estimados como parte dos resultados do trabalho aqui apresentado. Também, foram realizados controles de resultados nos anos 1997 e 1998.

Ano	Gs (ton)	Ano	Gs (ton)	Ano	Gs (ton)	Ano	Gs (ton)
1971	2972696,4	1980	13725349,0	1990	7034721,3	2000	10544642,0
1972	5248927,1	1981	8435419,5	1991	9567578,4	2001	5850945,0
1973	6125654,6	1982	12389522,5	1992	9966700,9	2002	8608490,0
1974	7993127,6	1983	12400591,2	1993	7441599,0	2003	7964213,0
1975	4629348,4	1984	6246063,6	1994	8674016,5	2004	9538432,0
1976	6270747,9	1985	8530227,6	1995	9096131,6		
1977	7458406,7	1986	4068390,0	1996	6897311,0		
1978	9165968,7	1987	5171513,6	1997	13728652,0		
1979	11024136,1	1988	8347418,8	1998	7175098,0		
		1989	7499739,2	1999	7332632,0		
Média	6.765.446	Média	8.681.423,5	Média	8.691.444,1	Média	8.501.344,4

Tabela 2: Transporte de sedimentos de fundo (G_s) em toneladas por ano

3.4. Sedimentos em Suspensão ou de lavado

Como o nome indica, a carga em suspensão ou carga de lavado (*wash load*) é a carga constituída pelas partículas sedimentares menores (silte e argila) que são transportadas suspensas dentro da massa d'água. Para quantificar o transporte de sedimentos em suspensão (Q_{ss}) ao longo do canal do Araguaia, a concentração de sedimentos em suspensão foi determinada para a estação hidrológica de Aruanã em 5 campanhas. As datas de coleta dos dados estão expostas na figura 4 .

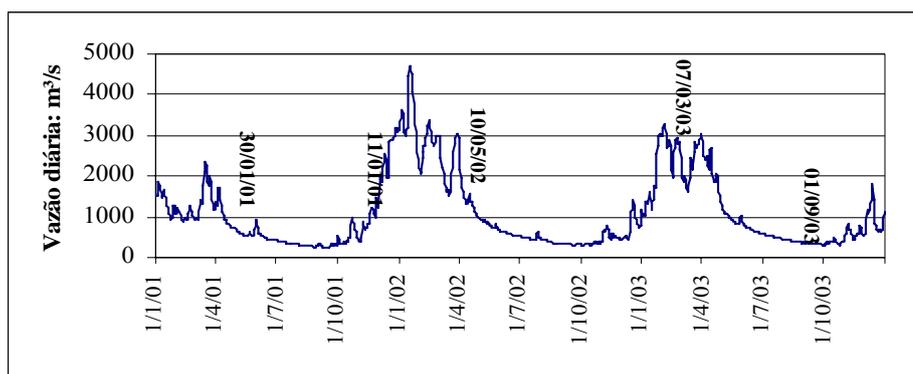


Figura 4: Hidrograma esquemático mostrando os dias de coletas de amostras de sedimentos em suspensão no trecho Aruanã, rio Araguaia.

As amostras foram obtidas utilizando garrafas de Van Dorn em, pelo menos três verticais na seção transversal. As amostras tiveram o volume de 1,0 lt, coletado (com réplica). O método de determinação da concentração de sedimentos suspensos utilizado é o definido por Orfeo (1991), e constitui na filtragem de uma parte da amostra através de membrana de éster celulose de 0,45 µm de poro e 47 mm de diâmetro (Millipore), previamente pesada. A determinação da quantidade de filtrado foi feita posteriormente por pesagem do filtro seco.

A estimativa da vazão de sedimentos suspensos foi obtida mediante o valor de concentração média obtido na seção estudada e da vazão média para o dia da coleta.

No total foram analisadas 50 amostras com uma média de 10 amostras por seção transversal, ou seja, aproximadamente 3 amostras por vertical e 4 no setor mais profundo.

As concentrações médias obtidas para a seção em cada campanha, e os cálculos de transporte para cada dia de coleta encontram-se na tabela 3. O cálculo de transporte foi obtido da seguinte equação: $Q_{ss} = 0,0864 \times Q \times C = (t/dia)$ (Eq.1), onde, Q = descarga líquida em m³/s (vazão), C = concentração em mg/l, e 0,0864 = a constante resultante da divisão dos segundos diários por conversões de unidades de massa, de gramas a toneladas.

Data	Vazão (m³/s)	Conc. na seção (mg/l)	Média seção	Transporte (ton/dia)
30/05/2001	775	61,15		4.095
11/11/2001	692	75,95		9.034
10/05/2002	891	46,14		3.552
07/03/2003	1921	104		1.7261
01/09/2003	1046	21,73		1.964

Tabela 4: Concentrações médias obtidas para a seção em cada campanha, e cálculos de transporte para cada dia de coleta.

Além das amostras de sedimentos em suspensão apresentadas, a ANA-Agência Nacional de Águas através da CPRM-GO tem obtido valores de concentração em 8 coletas: uma no ano de 1992 e as outras entre 2000 e 2002.

A tabela 5 mostra os dados de concentração e transporte diário, obtidos pela ANA. A figura 5 mostra a totalidade das amostras e seus respectivos valores de concentração em relação às amostras coletadas e as disponibilizadas pela ANA, que se concentram nos anos 2001-2003.

Data da medição líquida	Vazão (m ³ /s)	Concentração (mg/l)	Transporte (ton/dia)
08/04/1992	449	35,48	1376,39
27/07/2000	482	223,34	9300,94
26/10/2000	297	43,13	1106,75
30/01/2001	1217	157,49	16559,88
11/01/2001	432	61,54	2296,96
02/02/2002	2121	194,29	35604,49
22/05/2002	645	180,90	10081,19
27/09/2002	309	37,83	1009,97

Tabela 5: Dados de concentração e transporte diário de sedimentos em suspensão, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas.

Estimativas de transporte de sedimentos na bacia do Araguaia-Tocantins foram feitas por Werneck et.al. (2003). Porém, a escassa população de amostras e a falta de regularidade das coletas criam problemas na hora de estimar o transporte de sedimentos no sistema. Por exemplo, na estação Aruanã remarca-se, pelos autores citados, que somente utilizaram quatro dados hidrossedimentométricos. Além disto, os autores remarcam que havia inconsistências na correlação entre as vazões medidas e as respectivas concentrações de sedimentos em suspensão, sendo necessário fazer ajustes, o que criou dificuldades na análise.

A equação da curva proposta por Werneck et.al. (2003) é uma típica curva de potência relacionando a vazão com o transporte de sedimentos em toneladas/dia, e expressa que:

$$Q = 0,0123Q_{ss}^{2,017} \quad \text{onde, } R2 = 0,9946$$

A partir das vazões médias mensais estimam que Q_{ss} (t/ano) foi de 12.612.575t/ para o período 1981-1998. Lamentavelmente, este estudo não mostra as datas dos dados utilizados, não sendo possível confrontar com os dados cedidos pela ANA para este estudo.

Werneck et. al. (2003) consideram uma vazão líquida média de 1.258 m³/s, e transporte de sedimentos em suspensão (carga de lavado) Q_{ss} = 34.555t/d e estimam uma valor de 310 mg/l de concentração média. Os maiores transportes médios mensais registram-se nos meses de janeiro, fevereiro e março e os meses de menor transporte foram agosto, setembro e outubro.

Quanto aos valores de descarga sólida em suspensão específica ao longo da Bacia do rio Araguaia, até a estação São Félix do Araguaia, os resultados foram classificados como “moderados”, mas no caso da estação Aruanã, quase foi classificada como “alta” devido a que chegou a 164 t/km².ano (Werneck, et.al.,2003).

Como fora mencionado, o problema maior com estas estimativas é que não fica exposto quais foram os dados utilizados. Nenhuma amostra coletada pela autora ou pela ANA tem chegado a valores maiores que 195 mg/l, sendo que em períodos de cheias (janeiro a março) os valores tem superado os 100mg/l.

Porém, estes valores nos permitem dizer que a estimativa de concentração média de sedimentos em suspensão de 310mg/l como proposta por Werneck et. al. (2003) está fora da realidade do sistema, já que, embora sejam poucas, as amostras apresentadas aqui representam uma variedade de momentos do ciclo hidrológico anual e de diversos anos, e em nenhum momento esses valores são atingidos.

Foi elaborada para este estudo uma curva de sedimentos utilizando as concentrações disponíveis e relacionando o transporte diário com a vazão média diária para o dia de coleta, utilizando a mesma metodologia aplicada por Werneck, et.al.(2003). A equação expressa: $Q_{ss} = 0,3612 \times Q^{1,4457}$

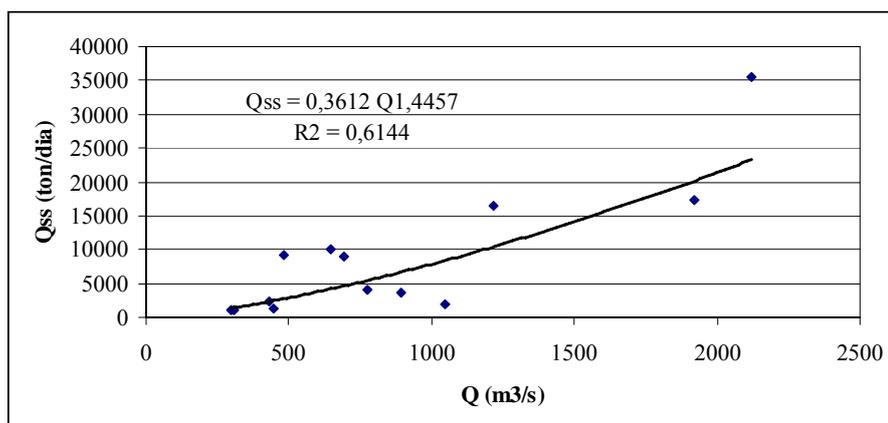


Figura 5: Curva de sedimentos utilizando as concentrações disponíveis. Relacionando o transporte diário com a vazão média diária.

O resultado da curva é diferente da apresentada pelos autores anteriormente mencionados, já que os mesmos utilizaram valores médios mensais para estimar o transporte e aqui foram utilizados dados diários de vazão. Além disso, com os valores coletados no campo e os oferecidos pela ANA, o transporte de sedimentos em Aruanã é significativamente menor do que o empregado por Werneck et. al.(2003). A modo de exemplo, foi calculado o transporte de sedimentos para os anos 2000 a 2004, e os valores obtidos foram praticamente 38% do valor proposto por (tabela 6), já que, com exceção do ano de 2001, que foi muito seco, o valor médio é de 4.867 ton/ano.

Sem dúvidas um programa intenso de amostragens em Aruanã e outras estações do Araguaia é necessário, já que com os dados de campo aqui apresentados, resulta extremamente arriscado utilizar as estimativas existentes na literatura e publicadas pela própria ANA.

Ano	Qss (Mt/ano)
2000	5,66 Mt/a
2001	2,92 Mt/a
2002	4,55 Mt/a
2003	4,11 Mt/a
2004	5,15 Mt/a

Tabela 6: Carga de sedimentos em suspensão (wash load, granulometrias silte/argila) por ano na estação Aruanã.

3.5. Vazão Efetiva

A avaliação de mudanças nas taxas de transporte de sedimentos pode ser marcada através de cálculos de vazão efetiva (Q_{ef}).

A geometria de um canal aluvial, é pensada por estar modelada por uma vazão de formato particular ao longo de um período de tempo. Esta vazão é denominada vazão efetiva (Q_{ef}), e seria a que produz o maior trabalho, sendo esse trabalho definido em termos de transporte de sedimentos (Wolman & Miller, 1960).

Durante longo tempo foi assumido na literatura geomorfológica que esta vazão efetiva estaria associada ao conceito de vazão de margens plenas “bankfull discharge” (Biedenharn et al., 1999), mas em grandes rios como o Brahmaputra e, inclusive no Paraná médio na Argentina, a vazão efetiva é inferior ao valor de margens plenas (Thorne et al, 1993, Amsler et al., 2005).

Sendo que a vazão efetiva forma parte do regime hidrológico e sedimentológico de um sistema aluvial, mudanças climáticas de certa magnitude ou mudanças no fornecimento de sedimentos na bacia deveriam ser refletidos nas características da morfologia do canal e nas taxas de transporte de sedimentos, ou seja, a vazão efetiva teria que mudar.

O cálculo de Q_{ef} começa a partir da construção de intervalos de classes de toda a série de vazões disponíveis para as estações consideradas.

Calcula-se a frequência em cada um dos intervalos de classes, como o resultado da divisão entre o número de vezes que se registraram vazões em cada um dos intervalos e o número total de dados (Biedenharn et al., 1999)

Para a vazão representativa de cada intervalo de classes (média aritmética de todas as vazões diárias do intervalo) calculou-se o transporte de sedimentos, com a curva de sedimentos que foi elaborada para as estações, obtendo-se o transporte de sedimentos arenosos, ou seja, para partículas maiores que 0.0625mm.

A partir disso, as frequências dos intervalos de classes foram multiplicadas pelo transporte de sedimentos associados a cada intervalo. A definição da descarga efetiva se obtém como o produto das frequências por transporte de sedimentos que mais se destaca.

Pode-se também, calcular a vazão efetiva por períodos de 10 ou 5 anos, desta maneira se poderá concluir se existiram variações de aumento ou decréscimo da vazão efetiva ao longo dos anos da série considerada, podendo-se ainda associar com as mudanças na morfologia do rio Araguaia.

Com isso, para avaliar a existência de mudanças nas taxas de transporte de sedimentos como possível resposta às drásticas mudanças na cobertura vegetal e uso da terra na bacia durante as últimas décadas e identificar quais as mudanças nas vazões mais eficientes na esculturação do canal (geometria) e no transporte de sedimentos no canal principal foram realizados cálculos de vazão efetiva (Q_{ef}) por décadas. A cota alcançada pelo valor da vazão efetiva coincide com o denominado “bar full” ou seja, com o topo das barras ativas, o que corrobora a relação entre transporte de fundo e descarga efetiva (Q_{ef}).

No caso do Araguaia foi visto que a quantidade de sedimentos transportados pelo sistema tem mudado durante as últimas décadas, incrementando-se a vazão efetiva (Q_{ef}) de 1.775 m³/s na década de 70 a 2.865 m³/s na década de 80 e 2.954 m³/s na década de

90 (Figura 6). Isto significa um incremento de 65% a respeito da Qef da década de 70, ou seja, aumentou significativamente a vazão que realiza o maior transporte de sedimentos de fundo no sistema.

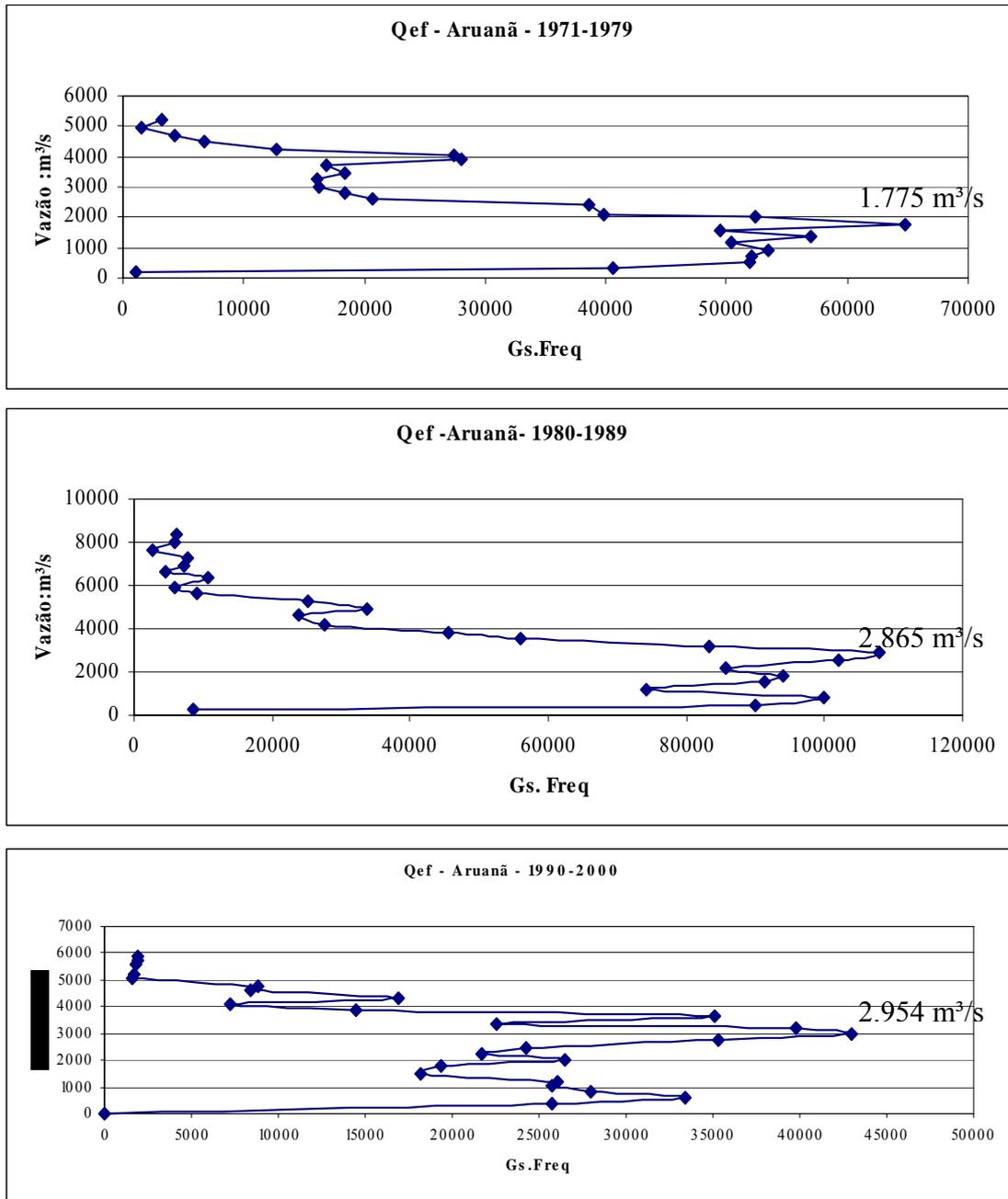


Figura 6: Valores de vazões efetivas em diferentes décadas, proposto para o médio rio Araguaia, em Aruanã

4. O transporte de sedimentos no Araguaia e as Mudanças do Uso da Terra na Bacia

Sendo que o Cerrado tem sofrido grandes taxas de desmatamento e de mudanças no uso da terra, poderia se relacionar o transporte de sedimentos do sistema fluvial com estes impactos.

Existem especificamente dois trabalhos que abordam a questão do desmatamento do Cerrado na bacia do Rio Araguaia no Estado de Goiás. O primeiro foi realizado pelo IBGE (1999) e faz um diagnóstico ambiental da bacia no trecho entre Barra do Garças (MT) e Luís Alves (GO), o qual constatou que apenas 8,95% das terras são áreas conservadas, ou seja, áreas que apresentam cobertura natural acima de 80% e que os 91,05% restantes são áreas utilizadas para agropecuária, núcleos urbanos ou outros usos pontuais, como extrativismo vegetal e mineral. Deste total, 62% destas terras são classificadas como áreas em situação de alerta, devido ao elevado índice de desmatamento em desrespeito à legislação ambiental, ou como consequência do uso inadequado do seu potencial agroecológico e/ou utilização com agricultura intensiva impactante.

O segundo trabalho é de Franco (2003), que contempla toda a bacia Araguaia em território Goiano, partindo de um mapeamento 1:250000 da cobertura vegetal em quatro intervalos temporais (1965/66, 1976, 1993 e 2001) e utilizando diversos produtos como cartas planialtimétricas, imagens de radar e satélite. O mapa de cobertura vegetal é composto por três categorias: áreas de fisionomia campestre, áreas de fisionomia de matas e áreas antropizadas, sendo que esta última agrega um conjunto de subclasses (áreas agrícolas, de pastagens plantadas, irrigação por pivô, queimadas e áreas sem definições de uso).

De posse destes dados foi feito um cálculo percentual simples para ilustrar melhor o ritmo de transformação da vegetação ao longo deste período. De 1965/66 a 2001, a vegetação com fisionomia de mata reduziu 68,2%, a área de fisionomia de campos, diminuiu 77,9% e a área desmatada ou antropizada aumentaram extraordinariamente: 8.38%.

Entre os anos de 1970 e 1980, a área da bacia do Araguaia entre a cidade de Barra do Garças (MT) e Luiz Alves (GO) atraiu pecuaristas que transformaram a região num dos maiores pólos de agropecuária do Estado de Goiás, e secundariamente de agricultura irrigada. Os dados obtidos através do IBGE sobre o número de cabeças do

rebanho bovino nos 58 municípios que integram o estado de Goiás, demonstraram que entre 1970 e 1980 o rebanho cresceu mais de 114%, ou seja, mais que dobrou em apenas 10 anos, passando de 1.708.266 para 3.661.376 cabeças de gado. Entre 1980 e 1995/96 cresceu mais 62% passando para 5.933.558 cabeças. Nos quatro anos seguintes até o ano 2000 atingiu 6.237.537 cabeças, um aumento de 4,87% (Morais 2006).

Um recente estudo realizado por Morais (2006) e Latrubesse et. al. (submetido) baseado em um mapeamento geomorfológico detalhado dos processos da planície aluvial diz que o sistema fluvial está sofrendo, no seu curso médio, drásticas mudanças com uma tendência a sedimentação de seus canais secundários e anexação de ilhas a planície aluvial, enquanto que, aumenta a quantidade mas não a área total da pequenas barras efêmeras centrais no canal, ou seja, o sistema esta armazenando grandes quantidades de carga de fundo (areias) nos canais secundários por meio de sua colmatação e com isto, o rio perde sua tendência original de sistema “anabranching”, atuando mais, como se fosse um rio entrelaçado (braided).

Baseados nos mapas mencionados e em um detalhado trabalho de campo ao longo de 570 km desde Bara do Garças ao rio Cristalino, Latrubesse et. al. (submetido) estimaram que 242M/T de sedimentos foram armazenados na planície aluvial do Araguaia desde o ano 1965 até 1998. Estes resultados somente contemplam a carga de fundo depositada (sedimentos arenosos) e a parte proximal da planície aluvial, faltando ainda ser estimada a transferência mais remota de sedimentos dentro da planície de inundação.

A figura 7 mostra que o desmatamento na bacia do Araguaia foi exponencial a partir de 1970. O aumento da carga de fundo pode ser também correlacionado com a taxa de desmatamento e com o incremento do produto bruto dos municípios inseridos dentro da bacia em território Goiano, os quais cobrem 79% da área.

O dados que foram gerados do PBI dos municípios da bacia gerados pelo IBGE, foram obtidos da base de dados da bacia do Rio Araguaia disponível no LABOGEF-UFG. O gráfico mostra a média por década do transporte de carga de fundo, a média por década da vazão efetiva em relação a somatória dos 58 municípios localizados na bacia do Araguaia no estado de Goiás. A economia dos municípios está ligada a produção de gado e seu crescimento indica o grau de pressão recebida pelo Cerrado na região.

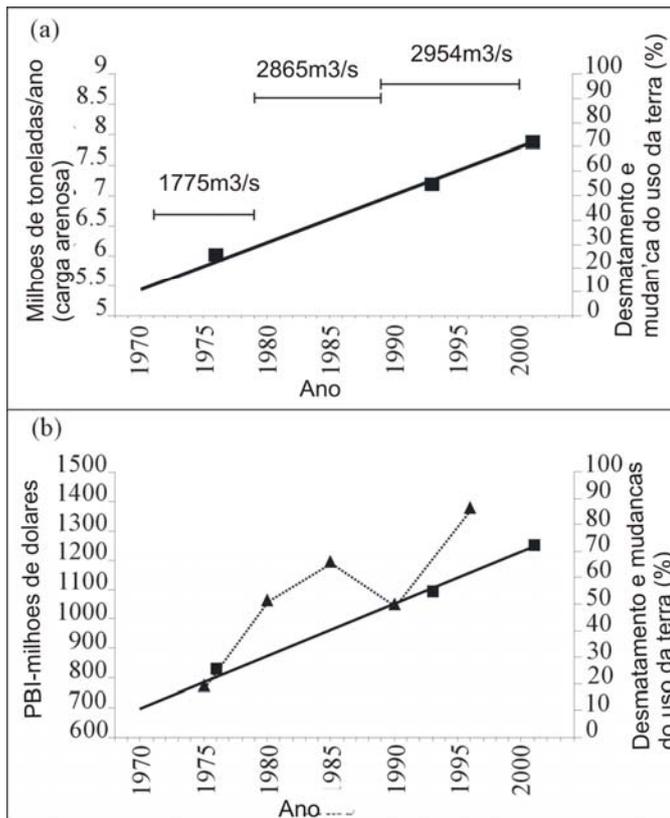


Figura 7: A-Relação entre desmatamento e mudança da terra, transporte de sedimentos de fundo total (Gs), e mudanças de vazão efetiva em Aruanã. B-Relação entre desmatamento e mudanças no uso da terra e o PIB dos 58 municípios do Estado de Goiás, inserido dentro da Bacia do Araguaia.

5. Considerações Finais

Estimativas do transporte de carga de fundo (Gsf) pelo método de deslocamento de dunas indicam que em Aruanã as dunas se movimentam entre 7 e 12 m/d. No período de margens plenas de março de 2003 o transporte foi de 4.370t/d. Os cálculos de transporte total (Gs) foram estimados desde a década de 70 e indicam um incremento de 28% até os tempos atuais, onde rio transporta uma média de mais de 8,5Mt/a.

O transporte de carga de lavado (wash load) ou desde o ponto de vista da geomorfologia, a carga e suspensão, foi estimada em 4.6Mt/ano para o período 2000-2004.

Os dados aqui apresentados mostram valores diferentes aos apresentados anteriormente por Werneck et.al. (2003), pois os valores de concentração média de sedimentos em suspensão sugeridos por esses autores são muito maiores que todos os valores do registro existente na estação, que é composto por dados próprios e dados da ANA-Agência Nacional de Águas (12 amostragens em total).

A análise de vazão efetiva (Qef) também demonstrou que a vazão mais eficiente para realizar transporte e ajustar a geometria do canal tem variado ao longo do tempo se incrementando de 1.775 m³/s a 2.954 m³/s durante tempos recentes.

Todos estes resultados indicam mudanças importantes no transporte de sedimentos do Araguaia. Tendo em conta outros resultados sobre balanços de sedimentos na planície aluvial, desenvolvidos recentemente, que sugerem uma deposição de 240Mt desde o ano de 1965 (Latrubesse et al., submetido), mais os grandes índices de desmatamento e mudanças de uso da terra que tem sofrido a bacia nesse mesmo período, se sugere que este incremento no transporte de sedimentos de fundo e da vazão efetiva obedece a respostas do sistema fluvial frente ao cenário de destruição do Cerrado.

Agradecimentos

À ANA-Agência Nacional de Águas pelo fornecimentos dos dados hidrológicos e sedimentométricos.

Bibliografia

- Amsler, M. e Gaudin, H. E., 1994. La superposición de dunas y el transporte de la carga de fondo en el río Paraná. Memórias XV Congresso Nacional del Água, La Plata, v.3:1-10.
- Amsler, M.L. e Prendes, H.H. 2000. Transporte de sedimentos y procesos fluviales asociados. In: Paoli, C., Schreider, M.I. (Eds.), El río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, pp. 233-306.
- Bayer, M. 2002. Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial Do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho. 2002. p.138.Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.2002.
- Biedenharn, D.S., Thorne, C.R., Soar, P.J., Hey, R.D., Watson, Ch.C. 1999. A practical guide to effective discharge calculation (Appendix A). In: Watson, Ch.C., Biedenharn, D.S., Thorne, C.R., Demonstration erosion control – Design manual. U.S. Army Corps of Eng. Vicksburg, Mississippi, USA.

- Franco, S. M. O grande vale do Araguaia: transformações da bacia do Araguaia em Goiás. 2003. 382 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2003.
- Coleman, J., 1969. Brahamaputra River: channel process and sedimentation. *Sedimentary Geology*, v. 3, p. 129-139.
- IBGE. Diagnóstico ambiental da Bacia do Araguaia: trecho Barra do Garças (MT) – Luiz Alves (GO). Goiânia: CDP/IBGE 139p. 1999.
- Latrubesse, E.M; Stevaux, J.C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. *Z.Geomorph.N.F. Berlin, Suppl.-Bd.129*, p.109-127, 2002.
- Latrubesse, E., Amsler, M. e Morais, R. (submetido). The Geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: the Araguaia River case. *Geomorphology*.
- Lima, D. R., Campana, N. A., Amsler, M., Schreider, M. I., Gaudin, H. E., 1990. Desplazamiento de dunas y carga de fondo en un tramo del río Paraná. Memórias XVI Congresso Latino-americano de Hidráulica, Montevideu, Uruguai, v.3:1203-1214.
- Morais, R. P. 2002. Mudanças históricas na morfologia do canal do rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (Mt) e a foz do rio Cristalino na Ilha do Bananal no período das décadas de 60 e 90. 2002. 176 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia..
- Martins, D. P.2004.Dinâmica das formas de leito e transporte de carga de fundo no Alto rio Paraná. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Estadual de maringá. 69p.
- Morais, R.P. 2006.A Planície Aluvial do Médio Araguaia: processos geomorfológicos e suas Implicações Ambientais. *Tese de doutorado*, CIAMB-Universidade Federal de Goiás, 145p.
- Morais, R.P e E. Latrubesse. 2000. Dinâmica evolutiva dos processos de erosão e sedimentação no canal do Rio Araguaia no trecho entre Barra do Garças (MT) e Ilha do Bananal entre as décadas de 60 e 90.- VII Simpósio Nacional de Erosão- Associação Brasileira de Engenharia e Ambiental/ABGEA) (in CD room), UFG. Goiânia.
- Orfeo, O. 1991. Muestreo, submuestro y analisis de sólidos suspendidos en ambientes lóticos de la llanura sub-tropical. *Corrientes*. Universidad Nacional del Nordeste. 82p.
- Stuckrath, T.1969. Movimento de las ondulaciones del lecho de río Paraná. *Mitteilungen das Frazius Institute*. Universitat Hannover, v1:20p. (tard. espanhol por Ing. M.H. Balderiote).

- Rijn, L.C.van. 1993. *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands.
- Thorne, C. Russell, A. e Alam, M. 1993. Plan form pattern and channel evolution of the Brahmaputra River, Bangladesh. In: (Best JL e Bristow, C eds.) *Braided Rivers*, Geol.Soc.London. 257-276.
- Werneck Lima, J.E.F., Dos Santos, P.M.C, Carvalho, N.O., da Silva, E.M. 2003. Araguaia-Tocantins: Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia. Brasília: *Embrapa*, ANEEL, ANA. 116p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)