

REALIZAÇÃO DE BATIMETRIAS PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS DA UHE DE COARACY NUNES NA GEOMORFOLOGIA DO MÉDIO ARAGUARI E PARA POSTERIOR DETERMINAÇÃO DE K_2 NO MODELO QUAL2E

BÁRBARA, V.F¹.

1- Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG) - Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA). Endereço: Escola de Engenharia Civil, Praça Universitária, s/n, Setor Universitário, Goiânia/Goiás. Fone: (62) 3209-6092. E-mail: viniciu.fagundes@bol.com.br.

SIQUEIRA, E.Q.²

2- Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG) - Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA). Endereço: Escola de Engenharia Civil, Praça Universitária, s/n, Setor Universitário, Goiânia/Goiás. Fone: (62) 3209-6092. E-mail: eduqs@yahoo.com.br.

CUNHA, A.C³.

3- Instituição: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA). Laboratório de Hidrometeorologia (LabHIDRO). Endereço: Rodovia Juscelino Kubtschek, Km - 10, Fazendinha, Macapá/AP. Fone: 55 (96) 212-5358. E-mail: c_alancunha@hotmail.com.

RESUMO

O Rio Araguari faz parte da principal bacia hidrográfica do Estado do Amapá, possuindo uma extensão de aproximadamente 498 km (PROVAM, 1990). É em seu médio curso que se encontra implantada a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN), a primeira barragem da Amazônia. Os dados hidráulicos e geomorfológicos deste rio, tais como vazão, relevo de fundo, profundidade, declividade e largura (que servirão, posteriormente, para a determinação do coeficiente de reaeração atmosférica K_2 (SIQUEIRA, 1996), no Modelo de Qualidade da Água QUAL2E), e os impactos que a implantação deste empreendimento pode ter causado na geomorfologia do corpo hídrico em questão, foram os objetos de estudo da presente pesquisa. Com o auxílio de um *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) de 600 kHz, equipamento de alta tecnologia especializado em batimetrias (RDINSTRUMENTS, 2005), foram realizadas medições em 120 km do Médio Araguari, subdivididos em 23 seções que, por sua vez, foram escolhidas visando contemplar ao máximo as características físicas deste corpo hídrico. Os experimentos de campo foram conduzidos no período de maio/2005 a março/2006, visando contemplar três momentos climáticos distintos: seca, chuva e uma estação intermediária, o que possibilitou analisar a influência do aumento de vazão nas características físicas do rio. Com os resultados parciais já obtidos, foi possível perceber que este corpo hídrico apresenta sinais evidentes de que a UHECN alterou consideravelmente suas características físicas originais, principalmente no que diz respeito à largura do canal e à área da seção transversal. Foi possível notar, também, que o Araguari tem características de relevo de fundo completamente diferentes, possuindo um comportamento bastante homogêneo na parte a montante da barragem, e muito heterogêneo a jusante da usina, onde é possível notar a presença de canais profundos, chegando a alcançar profundidades acima dos 21 metros. É necessário que se discuta sistematicamente a implantação de novas hidrelétricas nos domínios da Floresta Amazônica, uma vez que essa região é muito plana e, qualquer barramento de água, seja para qual finalidade for, poderá não só interferir consideravelmente nas características geomorfológicas da área, mas, também, provocar a inundação de grandes áreas. O ADCP mostrou-se um equipamento de elevada precisão nesse tipo de pesquisa.

Palavras-chave: batimetria; reaeração; QUAL2E; ADCP.

INTRODUÇÃO

O Estado do Amapá destaca-se por possuir uma considerável malha hídrica, apresentando o terceiro maior potencial de descarga de rios do país (REBOUÇAS, 2002). Em sua região centro-leste está situado o Rio Araguari, o qual nasce na Serra Lombarda e Tumucumaque e deságua no Oceano Atlântico, estando integralmente localizado na área de domínio do Amapá e formando a maior bacia hidrográfica estadual, com uma área de aproximadamente 37.648 km² e extensão de cerca de 498 km (PROVAM, 1990).

Atualmente, estão sendo observados alguns potenciais conflitos relativos aos usos das águas do Rio Araguari (CUNHA, 2004), principalmente no seu médio curso, onde está localizada a primeira barragem instalada na Floresta Amazônia, a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (UHECN), e as cidades de Porto Grande, Ferreira Gomes e Cutias do Araguari. Neste perímetro, durante o período de estiagem, o nível do rio no trecho de montante (desde o afluente Amapari até aproximadamente 10 km antes da barragem), é controlado por operações das comportas da UHECN, o que altera de maneira significativa o ritmo do seu fluxo natural, acabando por influenciar consideravelmente os parâmetros que interferem em seus processos biogeoquímicos e, em especial, na sua capacidade de autodepuração e reaeração atmosférica, modificando, assim, a qualidade de suas águas. É importante salientar que a alteração da capacidade de reoxigenação de um curso d'água interfere consideravelmente na biota aquática, uma vez que muitas espécies da ictiofauna são bastante sensíveis aos níveis de oxigênio dissolvido presentes no meio líquido.

Visando auxiliar na solução ou minimização de problemas relacionados principalmente com a capacidade de autodepuração de corpos hídricos, surgiram os modelos de qualidade da água, que funcionam como ferramentas capazes de auxiliar o poder público e a sociedade civil na gestão de bacias hidrográficas (SIQUEIRA, 1996). Dentre os modelos matemáticos existentes na atualidade, o Programa de Modelagem da Qualidade da Água QUAL2E (BROWN e BARNWELL, 1987), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), se destaca por possuir grandes vantagens na análise de cenários atuais e futuros de qualidade da água, sendo capaz de quantificar, com especial segurança, a capacidade de autodepuração de rios, uma vez que simula, dentre outros parâmetros, as principais reações dos ciclos de nutrientes (fósforo e nitrogênio), da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), da produção fotossintética das algas, e, principalmente, da reaeração

atmosférica e dos efeitos desta no balanço final de oxigênio dissolvido (GASTALDINI et al., 2002).

Contudo, para que o QUAL2E simule, de maneira confiável, a situação atual ou futura da qualidade das águas de um rio, é necessário que sejam fornecidos para o programa, determinados dados de entrada, sendo que um dos mais importantes é o coeficiente de reaeração (K_2). De acordo com Barbosa e Giorgetti (1995), existem várias técnicas experimentais que foram desenvolvidas para a determinação do K_2 , sendo que a mais aceita é a dos traçadores gasosos. Porém, esta técnica envolve trabalhos de campo consideráveis, laboratório, equipamentos e técnicos especializados. Além disso, ela se torna inviável no caso de um rio como o Araguari, uma vez que este possui dimensões muito grandes, o que demandaria um elevado volume de gases para serem solubilizados e monitorados em níveis detectáveis pelos equipamentos que os quantificam.

Devido aos fatores acima expostos, na presente pesquisa a determinação do K_2 para o Rio Araguari foi feita utilizando equações existentes na literatura (que, por sua vez, se baseiam em parâmetros hidráulicos), da mesma forma como procedeu Rutherford (1991), quando na modelagem do Rio Tarawera, na Nova Zelândia, e Siqueira (1996), na modelagem do Rio Meia Ponte, em Goiás.

Para a determinação do coeficiente de reaeração, o QUAL2E leva em consideração os parâmetros hidráulicos de escoamento do corpo d'água, sendo eles: profundidade, declividade, velocidade e vazão médias. Todavia, é sabido que tais parâmetros dependem diretamente das características geomorfológicas do rio, variando completamente de um corpo hídrico para outro. Por isso, os objetivos mais relevantes deste trabalho foram:

- a) realizar, com o auxílio de um *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), batimetrias no Médio Araguari, visando identificar, durante o período de dois anos, suas principais características geomorfológicas (que, posteriormente, servirão como base de cálculo para a estimativa dos coeficientes de descarga do mencionado rio, possibilitando, desta maneira, determinar o K_2 , que está sendo utilizado, juntamente com o QUAL2E, no estudo da autodepuração desse corpo d'água); e
- b) analisar os possíveis impactos que a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes possa ter causado nas características geomorfológicas do Médio Araguari.

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Araguari possui, de maneira geral, relevo plano (com declividade de 0,25 m/km), exceto em algumas regiões colinosas revestidas por florestas pluviais que aparecem junto à borda ocidental da planície; todavia, na maior parte da área da bacia, formam-se regiões inundáveis no inverno. Sua porção ocidental é constituída por florestas pluviais e relevos irregulares. Porém, na região denominada de Baixo Araguari (onde acontece o fenômeno da pororoca), a predominância é de uma planície flúvio-marinha (PROVAM, 1990).

O Rio Araguari (Figura 1 *a*), nasce na Serra Lombarda, a cerca de 200 metros de altitude. É formado pela confluência dos rios Mururé e Amapari, recebendo como afluentes os Rios Tapiti, Mutum, Tajauí, Igarapé do Eduardo, Santo Antônio, Falsino, Igarapé da Ribeira, Igarapé Manuel, Jacinto, Tracajatuba, Aporema e Igarapé do Cordeiro. Próximo da cidade de Porto Grande ocorre a confluência com o Rio Amapari onde, a partir de então, inicia-se seu trajeto pela Planície Costeira do Amapá, sendo sua foz no Oceano Atlântico. O PROVAM (1990) indica que a extensão aproximada do Rio Araguari é de 498 km, sendo ele dividido em três trechos: Curso Superior ou Alto Araguari (132 km); Curso Médio ou Médio Araguari (161 km), onde se encontra implantada a Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes (Figura 1 *b*); e Curso Inferior ou Baixo Araguari (205 km), que é a parte do rio onde ocorrem os menores índices de declividade.

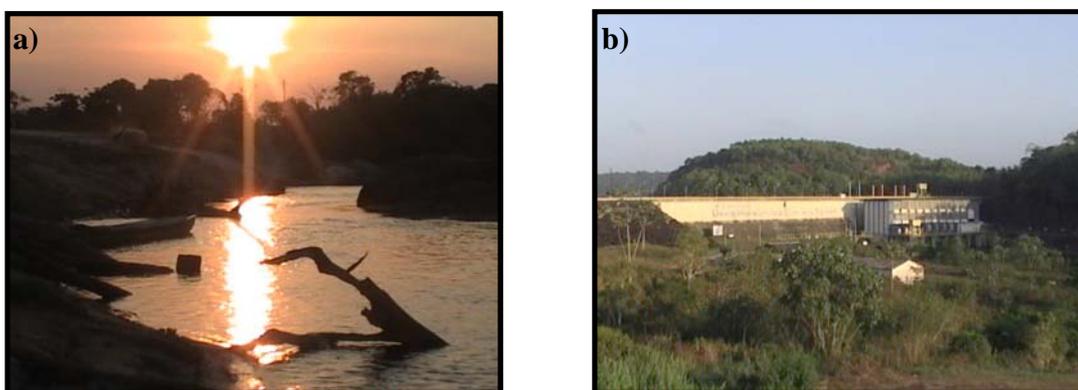


Figura 1: a) Vista geral do Rio Araguari; b) Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes. (Imagens obtidas durante a 1ª Campanha de Batimetria, em março/2005).

3 METODOLOGIA

Foram realizadas três campanhas de batimetria em 120 km do Médio Araguari, durante um período de dois anos, nos meses de maio e novembro de 2005 e março de 2006. O objetivo foi o de contemplar as duas principais estações climáticas do Amapá (inverno e verão) e uma estação intermediária de inverno (março). O trecho estudado foi subdividido em 23 pontos de medição, com distâncias variadas, levando-se em consideração, para esta divisão, as diferentes características físicas do rio (Figura 2). Porém, não se procedeu com a batimetria dos vinte e três pontos todas as vezes que foram realizados os trabalhos de campo. Isso ocorreu, principalmente, devido a dois fatores: dificuldades de acesso em determinados trechos (principalmente na estação seca), e presença de rochas no curso d'água (o que poderia danificar o ADCP).

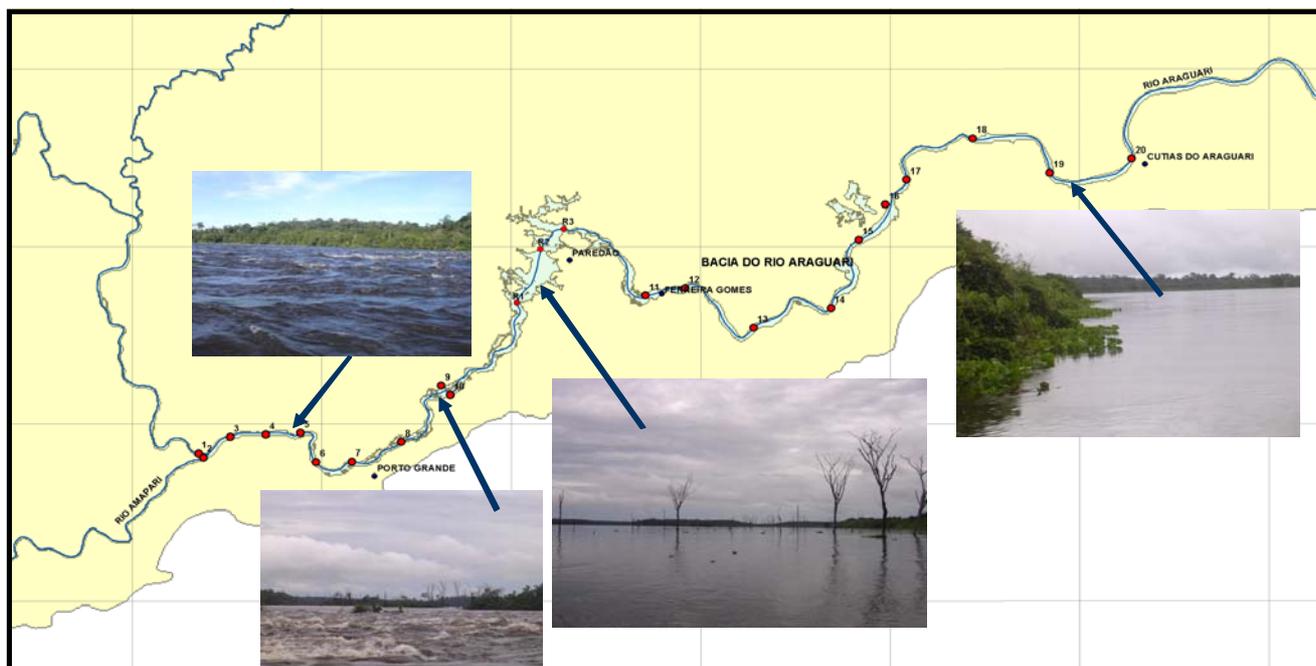


Figura 2: Localização das seções onde foram realizadas as batimetrias no Rio Araguari (Deptº. de Geoprocessamento do IEPA/2005).

Para a realização das batimetrias, foi utilizado um *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), ou seja, Perfilador Doppler-Acústico de Corrente, com potência de 600 kHz. O ADCP é um equipamento que está sendo muito empregado em todo o mundo para medições

de descarga em grandes rios, sendo capaz de medir vazões em tempo real. Conforme pode ser observado na Figura 3 *a* e *b*, o aparelho é composto por uma sonda conectada a quatro tradutores, além de um “deck box”, que tem a função de filtrar os sinais e repassá-los para um microcomputador dotado de um *software* específico, chamado *WinRiver Mode*.

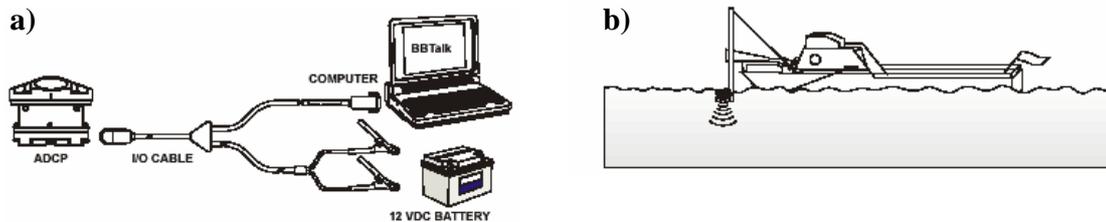


Figura 3: a) Esquema de conexões para funcionamento do ADCP; b) Exemplo de acoplamento do ADCP à embarcação. (Rdinstruments, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As campanhas de batimetria realizadas no Médio Araguari possibilitaram a visualização não só da variação das vazões e da velocidade da água deste corpo hídrico, mas também (e principalmente), do comportamento geomorfológico do canal. São apresentados, a seguir, apenas alguns dos perfis da 1ª batimetria realizada (maio/2005), devido à limitação de espaço estabelecida para o presente artigo. Estas ilustrações foram obtidas do *software WinRiver Mode* (Figuras 4 a 9).

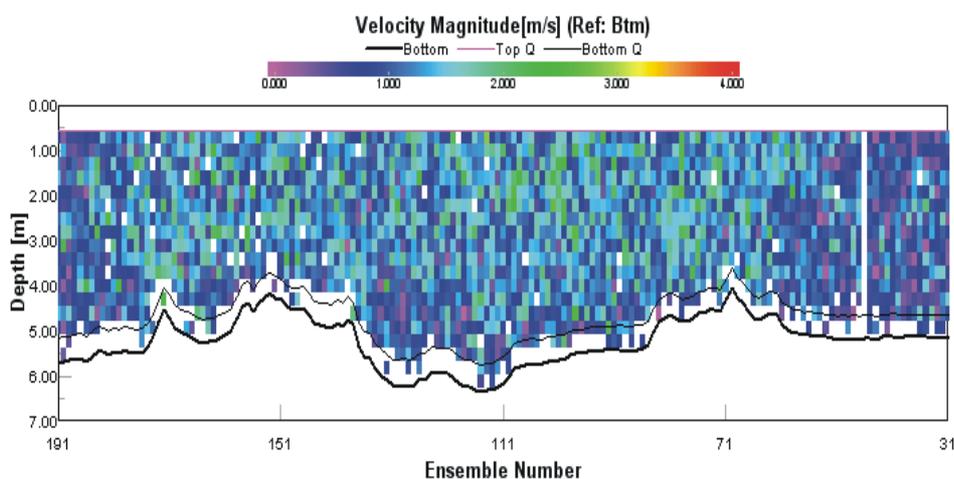


Figura 4: Perfil da seção de medição nº 3, a montante do reservatório da usina.

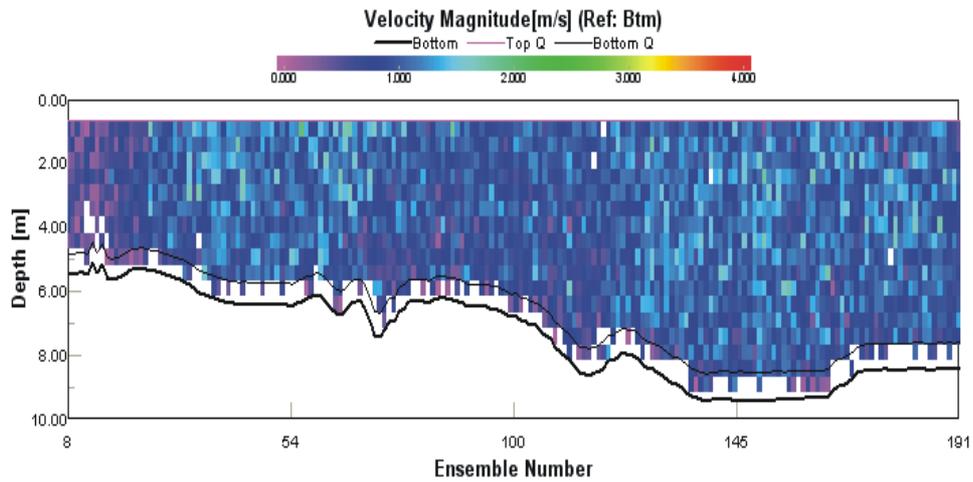


Figura 5: Perfil da seção de medição nº 6, a montante do reservatório da usina.

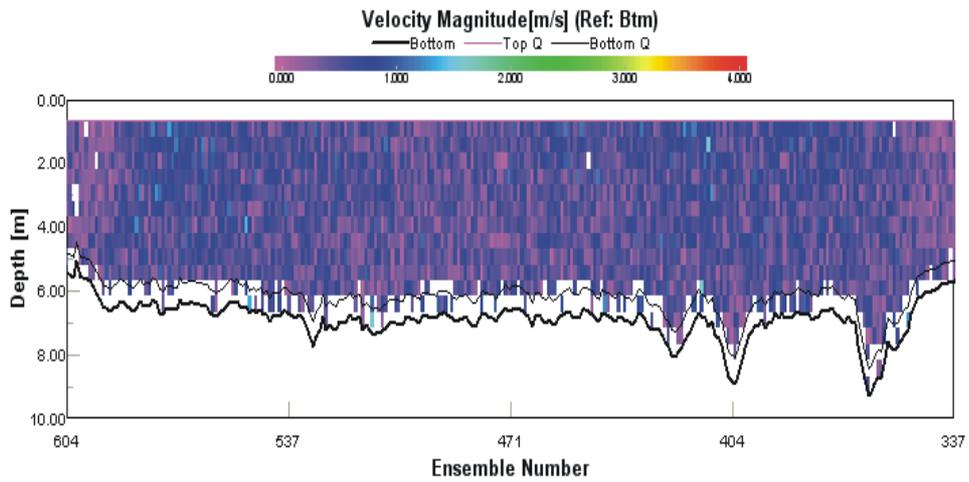


Figura 6: Perfil da seção de medição R3, dentro do reservatório da usina.

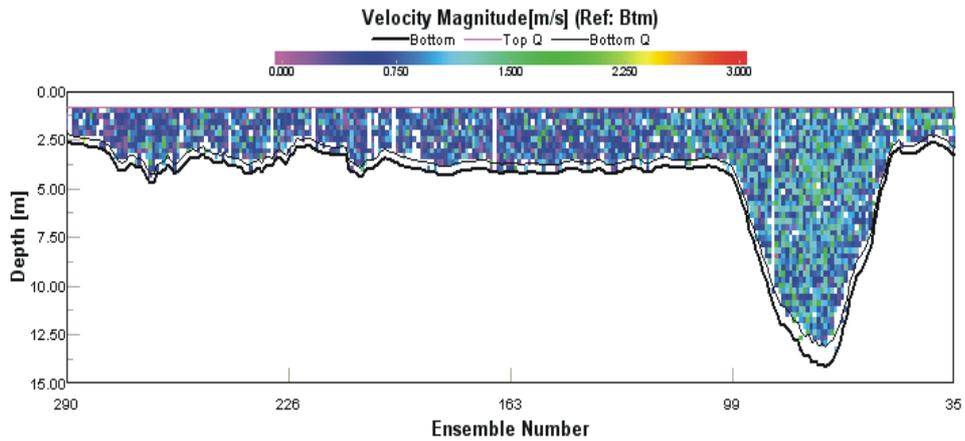


Figura 7: Perfil da seção de medição nº 11, a jusante do reservatório da usina.

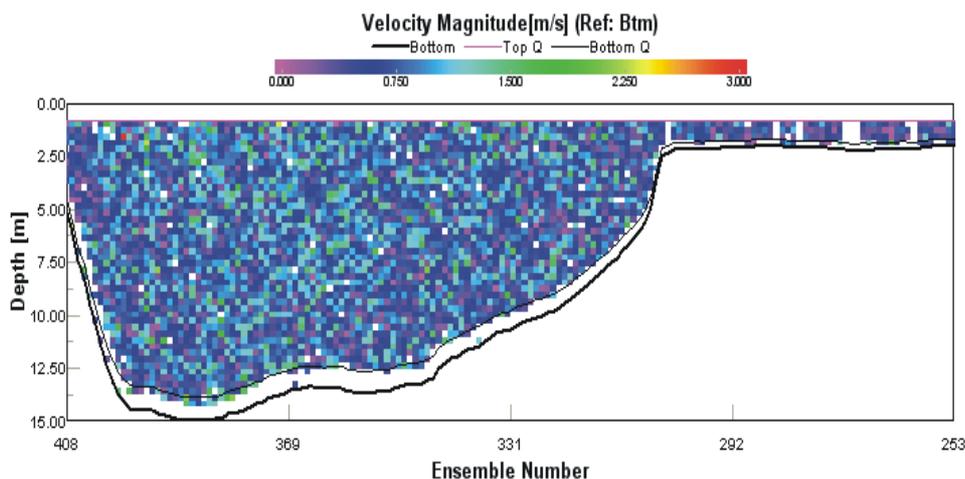


Figura 8: Perfil da seção de medição nº 15, a jusante do reservatório da usina.

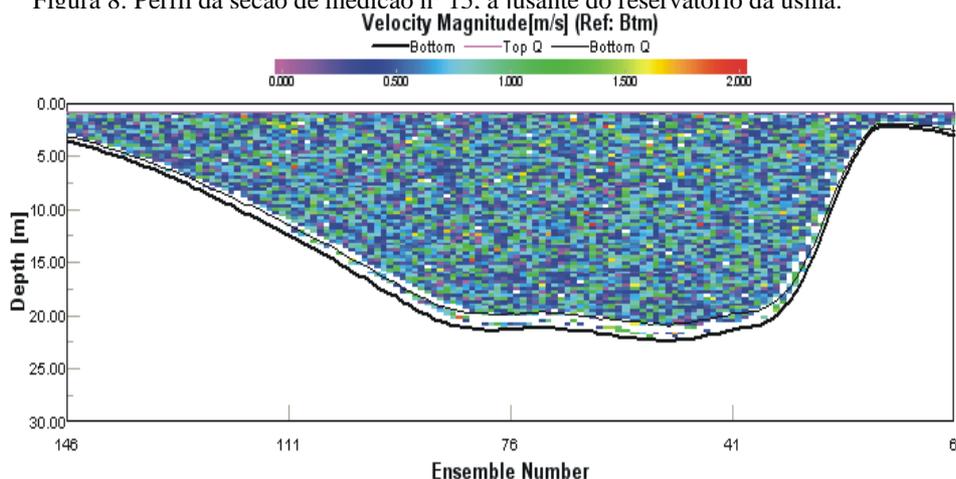


Figura 9: Perfil da seção de medição nº 20, a jusante do reservatório da usina.

Analisando os perfis acima expostos, é possível observar, no que diz respeito à profundidade, que o Médio Araguari apresenta, até a seção de medição R3 (localizada no reservatório da usina), uma geomorfologia consideravelmente homogênea, onde as profundidades médias permanecem relativamente constantes, ficando compreendidas na faixa entre 4 e 6 metros. Todavia, tal comportamento se modifica completamente nas seções a jusante da barragem (seções de medição 11, 15 e 20), em que é possível perceber a presença de canais bem definidos e mais profundos, que chegam a alcançar profundidades acima de 21 metros.

De posse das medidas obtidas nas batimetrias realizadas, procedeu-se com a plotagem de gráficos que representassem outras características geomorfológicas do Rio Araguari, enfocando principalmente a largura e a área da seção transversal em relação à distância percorrida. No gráfico da Figura 10 é possível observar que a largura do Rio Araguari aumenta consideravelmente entre os quilômetros 37 e 57. Isso acontece porque é exatamente nessa região que está localizado o lago da Usina Hidrelétrica de Coaracy Nunes. Nos demais trechos, o canal apresenta o comportamento de suave alargamento à medida em que sua vazão aumenta. A menor largura medida foi de 156,12 m (na seção nº3, em plena seca), e a maior foi de 977,83 m (na seção R3, durante a estação chuvosa).

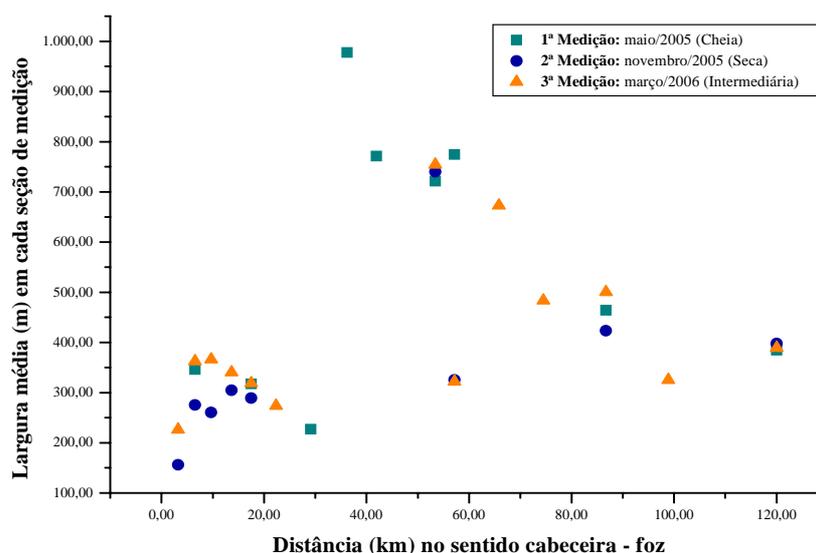


Figura 10: Gráfico da largura média do canal x distância.

Analisando o gráfico ilustrado na Figura 11, percebe-se que o canal tende a aumentar paulatinamente sua área da seção transversal, exceto por um aumento brusco na região onde está localizado o reservatório da usina (o que era esperado), entre os quilômetros 37 e 57. Tal comportamento pode ser explicado, em partes, devido ao fato da região da Floresta Amazônica ser muito plana, o que provoca, principalmente em empreendimentos com a finalidade de barramento de água, a inundação de extensas áreas contíguas ao corpo hídrico. O

menor valor de área detectado foi de 201,35 m (na seção n° 3, durante a estação seca), e o maior de 5.767,00 m (na seção n° 20, durante a cheia).

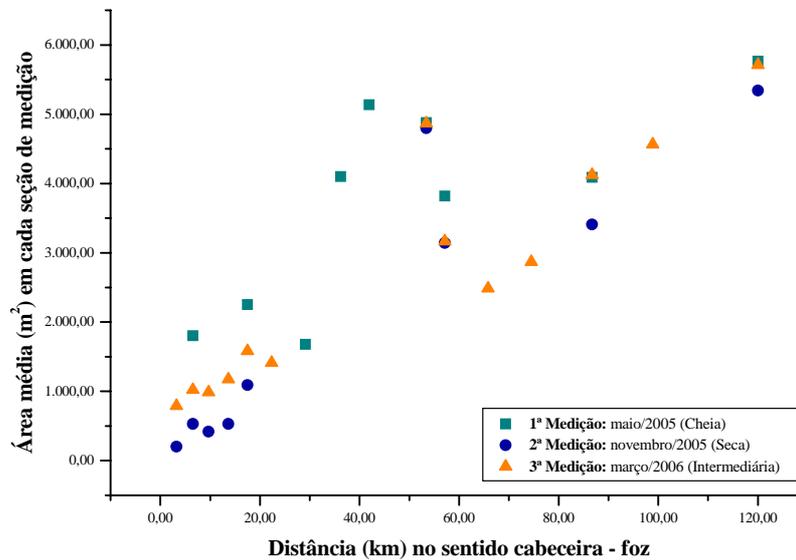


Figura 11: Gráfico da área média da seção transversal x distância.

CONCLUSÕES

O Rio Araguari apresenta sinais consideráveis de alterações físicas sofridas devido às atividades antrópicas oriundas da instalação e funcionamento da UHECN, que parece ter alterado seu comportamento natural, principalmente no que diz respeito à largura e, conseqüentemente, à área da seção transversal. Estudos mais aprofundados devem ser feitos para que se consiga vislumbrar, com maior precisão, as possíveis alterações que a barragem possa ter causado em termos de profundidade e assoreamento do canal. Assim, é necessário que se discuta sistematicamente a construção de novos empreendimentos desta natureza nos domínios da Floresta Amazônica, uma vez que a declividade na região norte do Brasil é pouco acentuada e, desta forma, a contenção de cursos d'água, seja para qual finalidade for, provocará o alagamento de extensas áreas verdes e, conseqüentemente, a alteração na geomorfologia dos rios, podendo ter reflexos negativos na biota aquática como um todo.

O ADCP se mostrou como uma importante ferramenta de trabalho, não só na medição de vazão do Médio Araguari, mas principalmente no levantamento de suas características geomorfológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA Jr., A.R.; GIORGETTI, M.F. **Reaeração de Corpos de Água Naturais** - uma metodologia para quantificação com o uso de traçadores. In: 18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador, BA. 17 e 18 de set. 1995. Anais.

BROWN, L.C.; BARNWELL, T.O. **The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E: Documentation and User Manual**. Athens, Georgia. 1987.

CUNHA, A.C. **Dossiê sobre a Implementação do Centro de Monitoramento e Previsão de Tempo, Clima e Recursos Hídricos do Estado do Amapá**. Macapá, AP: IEPA/LABHIDRO. 2004. 91 p.

GASTALDINI, M.C.C.; SEFRIN, G.F.F.; PAZ, M.F. Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do Rio Ibicuí utilizando o modelo QUAL2E. **Engenharia Sanitária e Ambiental**: revista da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, v. 7, n. 3 e 4, p. 129-138, jul/dez 2002.

PROVAM - **Programa de Estudos e Pesquisas nos Vales Amazônicos**. Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. v. 1, Belém, PA. 1990. 189 p.

RDINSTRUMENTS. **Manual do ADCP**. Disponível em: <<http://www.rdinstruments.com>>. Acessado em: 14 nov. 2005, às 14:32 pm.

REBOUÇAS, A. C. **Água Doce no Mundo e no Brasil**. In: Águas doces no Brasil - capital ecológico, uso e conservação - Org. Aldo da C. Rebouças [et al.]. 2 ed. São Paulo, SP. 2002. 703 p.

RUTHERFORD, J.C. **Deoxygenation in a Mobile-Bed River - II**. Model Calibration and post-Audit. Water Research. v. 5. n. 12. p. 1499 - 1508. 1991.

SIQUEIRA, E.Q. **Aplicação do Modelo de Qualidade de Água (QUAL2E) na Modelação de Oxigênio Dissolvido no Rio Meia Ponte (GO)**. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP: USP. 1996. 90 p.