



## **CAPACITAÇÃO DE ESTUDANTES DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL EM SENSORIAMENTO REMOTO DE RECURSOS HÍDRICOS – CASO: CURVA CHAVE COTA-ÁREA DE INUNDAÇÃO DO LAGO DO TUPÉ, EM MANAUS AM**

**Ismael Botelho Alecrim** – ismael\_alecrim@hotmail.com

**Renan Melo Bastos** – renanmelo\_bastos@hotmail.com

**Elias Simão Assayag** – elias\_assayag@yahoo.com.br

**Gabriel de Souza Cerveira Pereira** – gabriel\_pereira123@hotmail.com

Universidade Federal do Amazonas, Engenharia Civil.

Av. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000, Campus Universitário.

CEP 69.077-00 – Manaus - AM

***Resumo:** Este trabalho apresenta a experiência de alunos do curso de graduação em engenharia civil participantes do Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas, especificamente na linha de sensoriamento remoto aplicado a recursos hídricos. O caso trata da determinação de uma curva chave área-cota considerando a área do lago do Tupé, localizado no baixo rio Negro, próximo a Manaus, e as cotas do rio Negro no porto de Manaus. Os dados de cotas foram obtidos na base de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas na Internet, HidroWeb. Por sua vez, as áreas foram estimadas a partir do processamento de imagens do satélite LandSat 5, obtidas junto ao banco de imagens do INPE. O resultado apontou para duas curvas chaves, sendo uma para as cotas mais baixas e menores áreas e a segunda para as cotas mais altas e maiores áreas. Além das curvas chaves, pode ser considerado como resultado tudo aquilo que decorre da participação de alunos de graduação em um programa de extensão, como por exemplo: a formação diferenciada, a iniciação científica, a produção de artigo, a participação e apresentação do trabalho em congresso, entre outras.*

***Palavras-chave:** Tupé, Curva Chave Cota Área, Sensoriamento Remoto.*

### **1. INTRODUÇÃO**

No curso de engenharia civil da Universidade Federal do Amazonas, o Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, mantido pelo Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas (PESA), desenvolve a linha de pesquisa de sensoriamento remoto aplicado a recursos hídricos, com estudos e análises de cenários e fenômenos hidrológicos, apoiando com informações as diversas ações desenvolvidas no programa, entre as quais as ações na região da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé (REDES Tupé).

A REDES Tupé é uma unidade de conservação municipal, fica localizada à margem esquerda do rio Negro, na área rural do município de Manaus (03°06'07"S e 60°01'30"W) e aproximadamente a 25 km em linha reta da região urbana. A reserva é

ocupada por seis comunidades: Livramento, São João do lago do Tupé, Julião, Central, Tatu e Agrovila (Figura 1).



Figura 1 – REDES Tupé. Fonte: acervo do Laboratório de Saneamento/UFAM.

No Tupé a vegetação é exuberante sendo formada por mata de igapó e de terra firme. Nos últimos anos, observa-se nas comunidades, um processo acelerado de desmatamento para execução de novas edificações, realizado por iniciativa de antigos e de novos ocupantes, oriundos da área urbana de Manaus e de outras localidades do interior do Amazonas e de outros estados brasileiros.

Somado a esses fatores, a sazonalidade no regime hidrológico, que marca a região amazônica e dimensiona os fatores ecológicos nas áreas alagáveis, com reflexo sobre toda a planície de inundação, também se faz presente na bacia hidrográfica do Igarapé do Tupé, alternando entre períodos de cheia (Figura 2) e vazante.



Figura 2 – Lago do Tupé na enchente de 2010. Fonte: Acervo do PESA.

Por estar relativamente próximo à área urbana de Manaus e por suas características ambientais, especialmente a beleza de seu cenário natural e de suas praias, tradicionalmente, a REDES Tupé tem sido um dos locais mais procurados para lazer e turismo (CHATEUAUBRIAND *et al.*, 2009).

Ao estudar a região do lago do Tupé, na fase de revisão bibliográfica, foi encontrada a informação de que grande parte do corpo hídrico apresenta uma seção em “V”, conforme:

*O lago Tupé, apresenta uma seção transversal com padrão tendendo ao triangular, com formato de cunha irregular ou “V”, deslocado para a margem direita (Figura 3). A declividade mais acentuada na margem direita está diretamente associada a formação geológica da região. O lago encontra-se inserido entre dois vales, com solos argilosos e arenoso-argilosos e uma fina camada de gley húmico nas direções norte e noroeste, além de uma extensa formação arenosa (bancos de areia) no limite da sua foz com o rio Negro (SANTOS-SILVA *et al.*, 2005)*

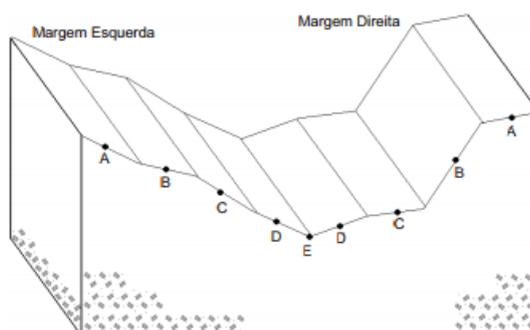


Figura 3- Seção transversal do lago. Fonte: SANTOS-SILVA *et al.*. (2005)

Em geral, nos corpos d'água que apresentam seção transversal em “V” é possível construir com sucesso a curva chave cota-área, que consiste em uma correlação direta de modo que conhecendo a cota se estima a área de inundação e vice-versa. Para construir esse tipo de curva chave é necessário conhecer uma série de dados onde cada elemento é composto pelo par cota e a área inundada em um mesmo momento.

Uma ferramenta que pode ser utilizada para mensurar a área de inundação é o sensoriamento remoto que pode ser definido como a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno. (LILLESAND & KIEFER, 1987). Estas informações podem ser obtidas por meio de fotos de avião ou de satélite artificiais.

O sensoriamento remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos (MORAIS, 2002)

Nos satélites artificiais, a energia refletida ou emitida pela superfície terrestre e captada por sensores eletrônicos, é transformada em sinais elétricos, na qual são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra (FIGUEIREDO, 2005).

Esse contexto despertou nos estudantes de engenharia civil participantes do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental o interesse científico de buscar os

dados de cota, estimar a área de inundação com uso de sensoriamento remoto, construir a série de dados e por fim proporem a curva chave cota-área para o lago do Tupé, ate então inédita.

## 2. OBJETIVO

O objetivo primo do trabalho foi propor a curva chave cota-área de inundação para o lago do Tupé, de modo que a cota possa ser conhecida a partir da área de inundação obtida pelo processamento de imagens de satélite, ou o inverso, uma vez conhecida a cota então será também conhecida a área de inundação.

## 3. METODOLOGIA

Preliminarmente foi formada a equipe de trabalho composta por três alunos sendo dois sem conhecimento algum na área de sensoriamento remoto e um já relativamente experiente, todos do curso de engenharia civil. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (Figura 4) do Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas, na linha de sensoriamento remoto aplicado a recursos hídricos. Ao longo do trabalho toda a equipe foi orientada por um professor.

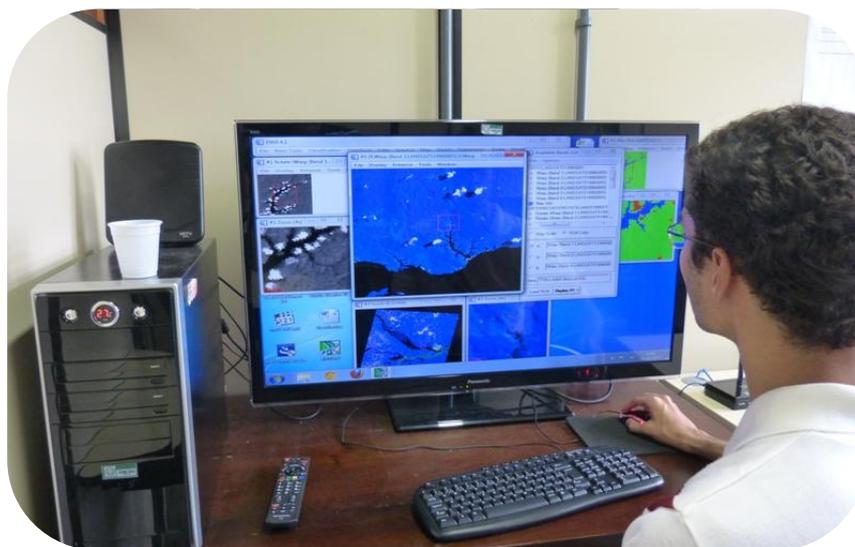


Figura 4 – Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental- PESA/UFAM.

Na fase de execução, primeiro se tratou de iniciar os não experientes na arte e ciência do sensoriamento remoto, para tal foi estudado o livro “Iniciação em Sensoriamento Remoto: imagens de satélite para estudos ambientais” da autora Teresa Gallotti Florenzano, combinado com as tutorias de exercícios práticos desenvolvidos no próprio laboratório e contidos na apostila da Oficina de Sensoriamento Remoto realizada na Semana Nacional de Tecnologia em Itacoatiara de 10 a 15 de outubro de 2012. Assim, a parte prática foi desenvolvida em paralelo com o estudo teórico.

Os estudantes foram treinados nas operações básicas do aplicativo: abrir arquivo externo, carregar banda, salvar arquivo nos padrões mais usuais, recorte de imagem, ortorretificar, classificação não supervisionada, região de interesse, definir região de interesse, classificação supervisionada, computar estatísticas e salvar arquivo.

Uma vez a equipe tecnicamente preparada, teve início a busca por dados. Foram obtidas as imagens da região, geradas pelo satélite LANDSAT 5, sensor TM, fornecidas gratuitamente através do site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram pesquisadas imagens para a órbita 231 e ponto 62 com cobertura máxima de nuvens  $Q1=90\%$ ,  $Q2=0\%$ ,  $Q3=90\%$  e  $Q4=90\%$ , no período de 29/05/1973 a 01/05/2013. Uma vez feita a transferência das imagens para o computador, foram aproveitadas 38 imagens que correspondiam ao critério de não ter nuvem sobre o Igarapé do Tupé ou falhas na imagem sobre a região do estudo.

As imagens selecionadas foram ortorretificadas minuciosamente de forma que todas as coordenadas geográficas ficassem o mais correto possível. Após certificar-se disso, a ferramenta utilizada foi recortar as imagens uma primeira vez selecionando a região do Igarapé do Tupé e muito do seu entorno, incluindo o rio Negro.

Um problema foi detectado ao tentar classificar as imagens para obter o número de pixels referentes a área desejada, pois não foi possível na classificação separar as águas do Rio Negro das águas do Igarapé do Tupé, já que os espectros se mostraram muito semelhantes. A solução encontrada foi girar a imagem em  $60^\circ$  no sentido horário e em seguida recortar uma segunda vez de modo a isolar a área de interesse (Figura 5 a e b).

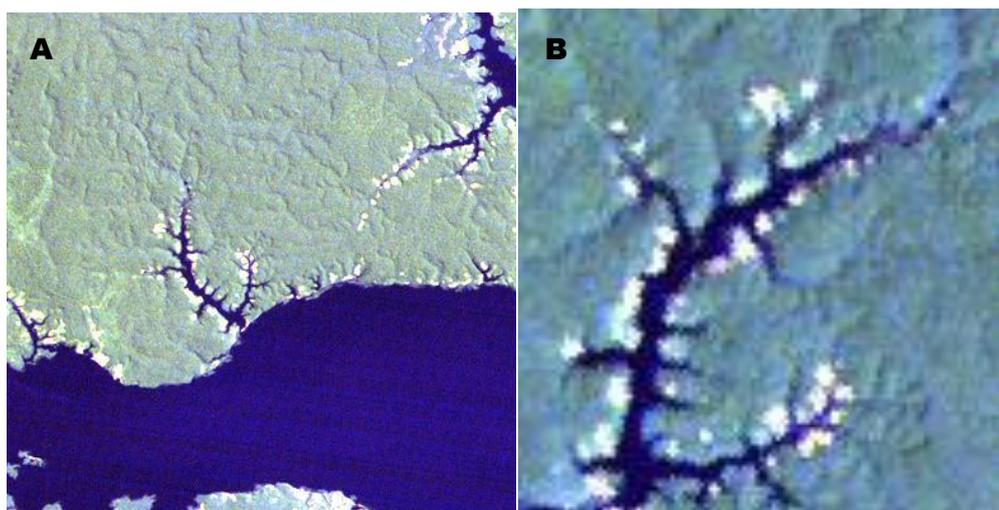


Figura 5- Imagem antes (a) e depois (b) do segundo recorte.

Para a classificação supervisionada das imagens foi escolhido o processo estatístico conhecido como Distância de Mahalanobis, que é baseado nas correlações entre variáveis com as quais distintos padrões podem ser identificados e analisados, para determinar a similaridade entre uma amostra desconhecida e uma conhecida.

Assim, na classificação das imagens foram criadas, imagem por imagem, as regiões de interesse (ROIs) que são as amostras conhecidas requeridas pela “Distância de Mahalanobis”. A classificação foi aplicada visando apenas duas classes: área inundada e área seca. Alguns exemplos do resultado obtido na classificação das imagens são mostrados na Figura 6.

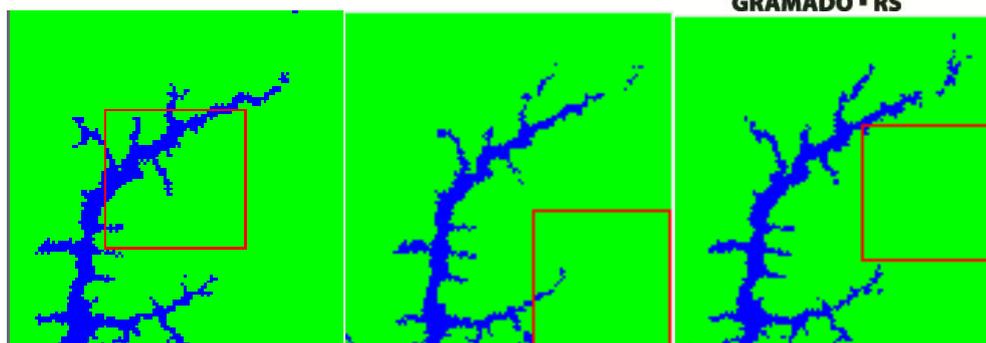


Figura 6- Exemplos dos resultados da classificação.

Com base no resultado da classificação das imagens, foi estimada a área inundada pelo lago do Tupé em cada data. Essa informação foi reservada para depois com as cotas compor a série de dados para determinação da curva chave área-cota.

Seguindo com o estudo, o próximo passo foi obter a série de cotas do rio Negro, especificamente para as mesmas datas das imagens consideradas no trabalho. Essas cotas foram obtidas através de registros do banco de dados hidrológicos da Agência Nacional de Águas, HidroWeb, disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. A estação fluviométrica selecionada foi 14990000. Os resultados são apresentados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1 – Série de Áreas de inundação do lago do Tupé e respectivas Cotas.

Cotas (cm)	Área (m <sup>2</sup> )	Data	Cotas (cm)	Área (m <sup>2</sup> )	Data
1603	622800	29/11/2009	2691	1121400	06/08/2008
1634	488700	12/11/1991	2697	1002600	22/05/1986
1736	500400	28/11/1991	2698	1118700	03/08/2001
1763	667800	20/09/1995	2712	980100	12/07/1987
1849	587700	28/09/1998	2713	1210500	04/08/2007
1975	722700	27/09/1992	2731	1198800	09/08/2003
1999	708300	24/11/1984	2739	1272600	05/08/1996
2034	741600	19/12/1987	2744	1080000	08/08/1991
2087	760500	21/09/2007	2750	1069200	10/08/1986
2094	861300	21/10/1989	2778	1199700	21/07/2008
2172	867600	19/10/1994	2785	1253700	24/07/2003
2313	853200	28/08/2010	2788	1197000	16/07/2006
2330	958500	02/09/2006	2794	1127700	23/07/1991
2333	900000	29/08/1987	2804	1116000	04/07/1990
2493	920700	31/08/2011	2817	1217700	02/07/2001
2564	1119600	10/09/2009	2817	1328400	08/07/2003
2585	1022400	22/04/2010	2821	1216800	07/07/1997
2623	1018800	21/08/1990	2847	1218600	04/07/1996
2624	1063800	15/08/1988	2853	1302300	30/06/2006
2624	1068300	06/07/1985	2881	1262700	21/06/1997
2645	1136700	25/08/2003	2883	1231200	05/05/2009
2653	1144800	31/05/1995	2884	1169100	02/08/1989
2658	1050300	27/07/2010	2911	1284300	13/07/1999

Com os dados ordenados foi elaborado o gráfico cota x área de inundação mostrado na Figura 7.

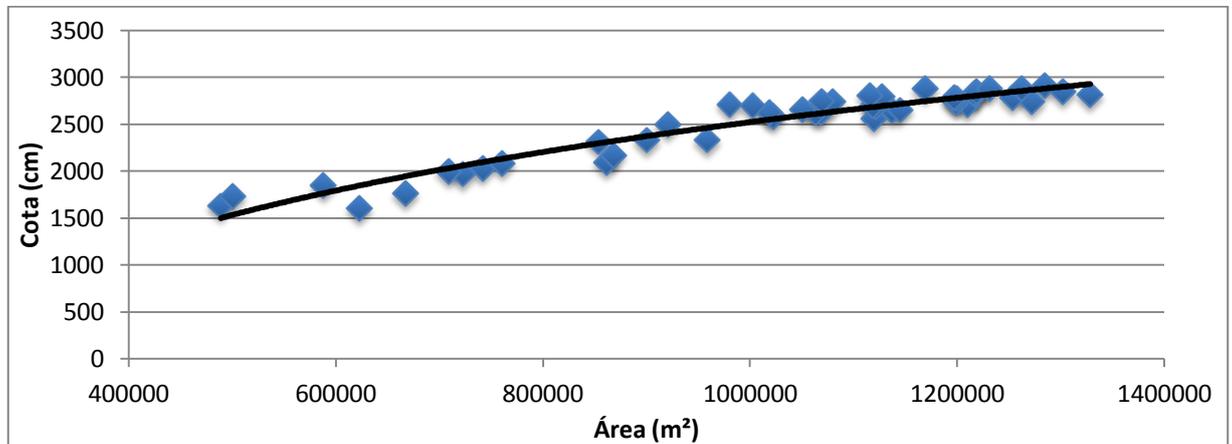


Figura 7- Gráfico cota x área de inundação

Para determinar a curva chave foram experimentados os ajustes dos tipos: linear, polinomial, exponencial, logarítmico e potência. O ajuste logarítmico apresentou o melhor resultado, com o coeficiente de correlação  $R^2 = 0,922$ . Sendo a curva chave cota-área de inundação:

$$y = 1427 \ln(x) - 17198 \quad (1)$$

Onde:

y = área de inundação [m<sup>2</sup>] do lago do Tupé.

x= cota [cm] na estação fluviométrica 14990000.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o objetivo específico do estudo de caso, o trabalho chegou com sucesso ao que se propôs com a formulação da curva chave cota-área de inundação para o lago do Tupé. De forma complementar, e considerando os aspectos pedagógicos, o trabalho apresentou muitos outros resultados.

Os alunos participantes desenvolveram conhecimento e domínio nas técnicas de sensoriamento remoto aplicado em recursos hídricos. Aspecto esse não contemplado no currículo do curso de engenharia civil da Universidade Federal do Amazonas.

A capacidade de trabalhar em equipe foi desenvolvida e aprimorada, sendo isso também importante para a formação profissional do futuro engenheiro. Outro aspecto muito positivo da experiência foi despertar nos estudantes o interesse pela produção de conhecimento, inspirando-os para uma futura pós-graduação.

Para a instituição, o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa associada com ensino e extensão é muito importante. A publicação de artigos decorrentes dessa atividade contribui para melhorar os seus indicadores acadêmicos. Também para os estudantes a publicação é muito importante.



### *Agradecimentos*

Aqui se faz o agradecimento ao Programa de Extensão em Saneamento no Amazonas, desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas com apoio da Pró Reitoria de Extensão da Universidade Federal do Amazonas e Ministério das Cidades por meio do Edital PROEXT – MEC/SESu.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CHATEAUBRIAND, Annunziata. ANDRADE, Ellen. PARENTE, Rosana. RAYOL, Keila. Reserva de desenvolvimento sustentável do Tupé - REDES do Tupé: Espacialização e informações das comunidades. Manaus: editora da Universidade Federal do Amazonas, 2009.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005. Disponível em [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf) Acesso em 14 jun. 2013.

LILLESAND, T.M. KIEFER, R.W. Remote Sensing and Image Interpretation. New York. John Wiley&Sons. 1987. 721p.

MORAIS, Elisabete Caria de. Capítulo1, Fundamentos de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2002, p.7.

SANTOS-SILVA, Edinaldo. APRILE, Fábio. SCUDELLER, Veridiana. MELO, Sérgio. Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central. Editora INPA, Manaus, 2005.

### **TRAINING COURSE FOR STUDENTS OF ENGINEERING IN REMOTE SENSING OF WATER RESOURCES - EVENT: BOW KEY COTA-AREA FLOOD LAKE TUPE, IN MANAUS AM**

***Abstract:** This paper presents the experience of students of undergraduate civil engineering program participants of the Sanitation in Amazon extension program, specifically within the remote sensing to water resources. The case deals with the determination of a turn-key area quota considering Tupé Lake area, located in the lower Rio Negro near Manaus, and the coordinates of the Rio Negro in Manaus port. The data were obtained in the quota database hydrological the National Water Agency on the Internet, HIDROWEB. In turn, the areas were endearments from the processing of Landsat 5 satellite images, obtained from the database of images from INPE. The results pointed to two curves keys, one for the lower levels and smaller areas for the second highest quotas and larger areas. Besides the curly braces, can be considered as*



*a result of everything that arises from participation of undergraduate students in an outreach program, such as: differentiated training in basic scientific research, the production of paper, participation and presentation of work congress, among others.*

**Key-words:** *Tupé Curve Key Cota Area, Remote Sensing.*