

A INVESTIGAÇÃO DA EROSIÃO FLUVIAL DO RIO GUAMÁ, BELÉM (PA), VISANDO A DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM ESTÁGIO CRÍTICO, UTILIZANDO O MÉTODO POTENCIAL ESPONTÂNEO.

Gilberto Emanuel dos Reis Vogado¹
Gustavo Nogueira Dias²

RESUMO

Este trabalho apresenta estudo geofísico de parte de orla fluvial sujeita à erosão, com o objetivo primordial de avaliar o seu uso na detecção de áreas degradadas pela erosão em estágio crítico, antes de seu desmoronamento. Esta área está situada ao longo de 600 m à margem do rio Guamá, entre a ponte do rio Tucunduba e o Porto de Canoagem, dentro do campus da Universidade Federal do Pará (UFPA), na cidade de Belém no Estado do Pará (Brasil). Conta, em alguns trechos, com diferentes tipos de contenção de erosão, entre os quais muro de concreto e sacos de cimento. Foi utilizado o método: Potencial Espontâneo (SP). As medidas foram levantadas durante a maré baixa e a maré alta na tentativa de mapear os caminhos preferenciais subsuperficiais para a entrada de água trazida pela maré alta e, por esse meio, para o trabalho erosivo. Os resultados demonstram que o método pode ser uma ferramenta auxiliar na previsão de locais onde a queda erosiva do terreno provocado por ela está prestes a ocorrer.

Palavras Chaves: Erosão Fluvial. SP. Geotécnica.

INTRODUÇÃO

Inaugurado em 13 de agosto de 1968, o campus pioneiro da Universidade Federal do Pará (UFPA) inseriu-se dentro da filosofia adotada nas universidades brasileiras, na década de 1960, de definição de um território universitário capaz de centralizar as atividades de administração, pesquisa, ensino e extensão. No caso da UFPA, essas atividades eram, até então, realizadas em unidades isoladas, instaladas em prédios localizados em diferentes pontos de Belém, Pinto (2007).

Tendo como um dos limites o rio Guamá, esse campus homônimo goza de uma orla de 3 km de extensão que lhe empresta uma especial beleza. Nos últimos vinte anos, contudo, a orla do Campus vem suportando um processo de erosão fluvial marcante. As tentativas de contenção do problema, como a colocação de sacos de cimento nas regiões de erosão mais

¹Doutor, PUC SP (Pontifícia Universidade Católica de São Paulo). Vínculo Institucional: Escola Federal Ten. Rego Barros. gvogado@globo.com.

²Doutor, UNR (Universidade Nacional de Rosário), Vínculo Institucional: Escola Federal Ten. Rego Barros. gustavonogueiradias@gmail.com

acentuada, têm se mostrado frustrantes, porque apenas atenuaram o problema em parte, sendo, conseqüentemente, esperadas obras de grande porte, Dias (2011).

O método do Potencial Espontâneo (SP do inglês Self Potential) baseia-se na medição de uma diferença de potencial entre dois eletrodos introduzidos no terreno na ausência de qualquer campo elétrico criado artificialmente. Uma das fontes desse potencial é a movimentação de água em subsuperfície, que pode ajudar na detecção da direção e sentido do fluxo d'água do aquífero livre. Carvalho Jr.(1997) e Carvalho Jr. & Silva (1996) mostram mapa de SP revelando a direção e o sentido da água no aquífero livre no Cemitério do Bengui em Belém (PA).

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

A área sob estudo está localizada no interior do Campus do Guamá da UFPA, que ocupa 450 ha entre a Av. Augusto Correa e a Av. Perimetral no bairro do Guamá da cidade de Belém (PA), à beira do Rio Guamá, entre a ponte do rio Tucunduba e a Sede da Canoagem, distando cerca de 3 km do centro de Belém (Figura 1).

Os pontos de localização foram obtidos com o GPS Geodésico, modelo EGM96, e com o GPS de navegação, modelo GARMIN MAP 76CSX, apresentando para marco inicial longitude $48^{\circ}27'13,04''$ W (783349 WE - UTM) e latitude $1^{\circ}28'34,9''$ S (9836654 SN - UTM), próximo à ponte do Tucunduba, e para marco final longitude $48^{\circ}26'55,57''$ W (783890 WE - UTM) e latitude $1^{\circ}28'25,90''$ S (9836930 SN - UTM), próximo à Sede do Porto de Canoagem, no dia 1º de dezembro de 2011.

No município de Belém, a topografia apresenta-se pouco variável e baixa, atingindo a altitude máxima de 25 m na ilha de Mosqueiro. O relevo das imediações da Universidade Federal do Pará apresenta um desnível topográfico muito inferior, com 9 m a montante caindo para 3 m a jusante, segundo dados de curvas de nível fornecidos pela Prefeitura do Campus da UFPA, Ribeiro et al. (1992).

A rede hidrográfica do município de Belém é formada por furos, baías, rios e igarapés, que drenam inclusive o centro urbano de Belém. Os elementos hídricos de maior significado para o município são as baías do Guajará, Marajó, Sol e Santo Antônio, e os rios Guamá, Maguari, Murubira, Pratiqara e Aurá, além de inúmeros igarapés que deságuam nas drenagens principais formando uma drenagem bem distribuída do tipo dendrítica, Mercês (1997).

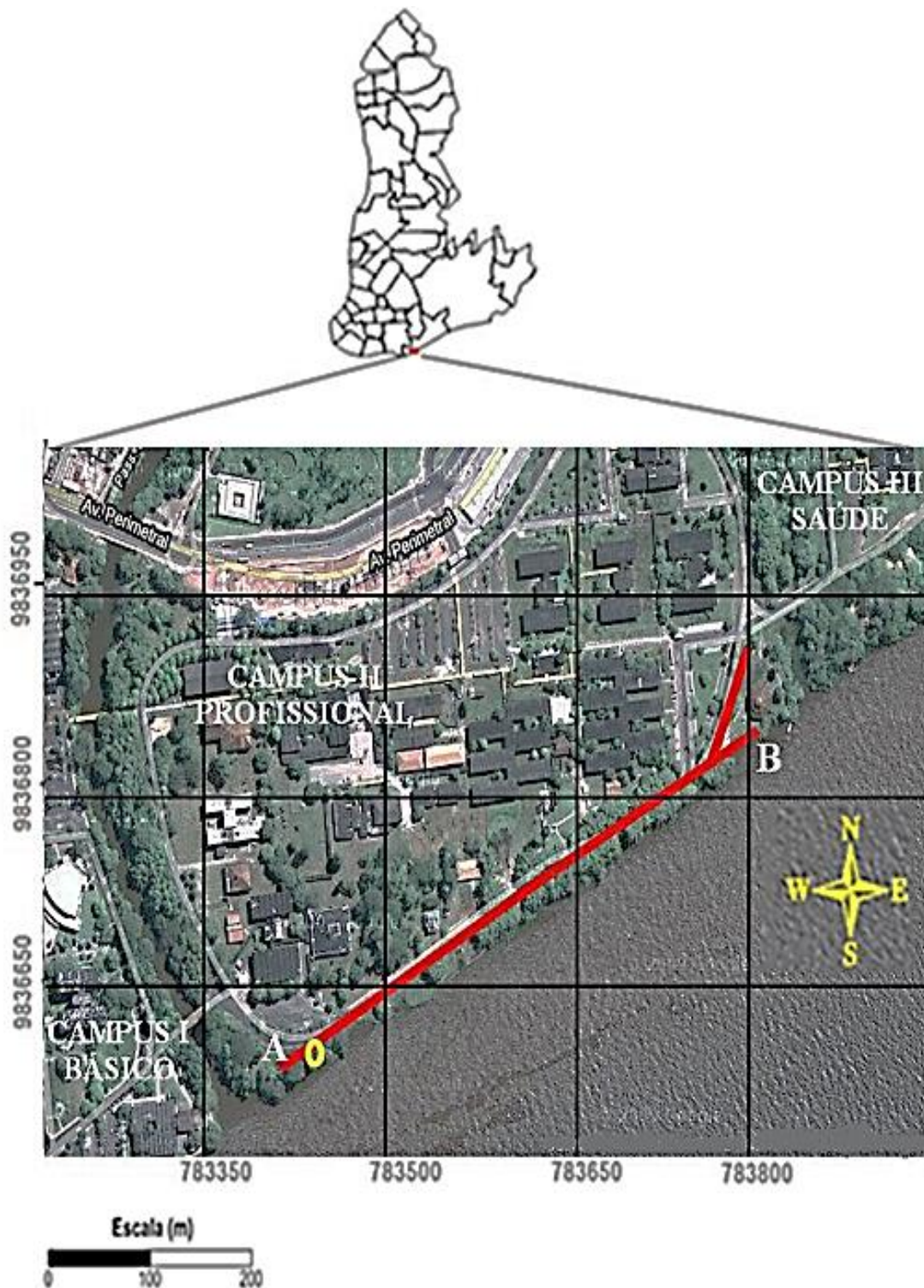


Figura 1. Área sob estudo no Campus da UFPA, nas imediações do perfil AB (GOOGLE, 2010). O círculo amarelo identifica local onde foi descrita seção geológica. Dias (2011).

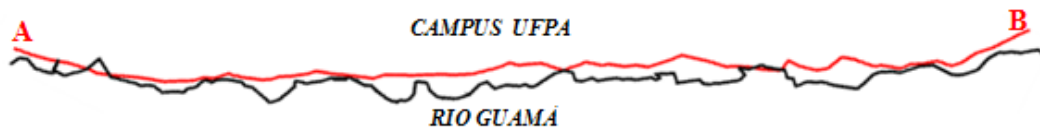


Figura 2 Perfil AB (*mais acima*) e contorno do rio (*mais abaixo e mais acentuado*) levantado por meio de GPS. O levantamento GPS ocorreu em 1/12/2011, enquanto o trabalho de campo findou em 3/09/2010, antes do desmoronamento de alguns trechos da orla. Dias (2011).

A Baía de Guajará, parte do estuário do rio Pará, foz do rio Amazonas, tem forma alongada e estreita, apresentando continuidade na baía de Marajó a Norte. Situa-se a Oeste da cidade de Belém e recebe as águas dos rios Pará, Acará e Guamá. Suas águas são barrentas e, no período de baixa pluviosidade na região, ficam salobras devido à influência das águas oceânicas (PINHEIRO, 1987).

A cidade de Belém é coberta pela unidade Pós-Barreiras, que compreende sedimentos recentes representados por areias de granulometria fina a média, marrons, inconsolidadas, com predominância de grãos de quartzo. As areias são intercaladas por argilas escuras, com restos vegetais, distribuídos nas orlas dos rios e igarapés; por sedimentos continentais do Grupo Barreiras, composto por arenitos ferruginosos, areias finas a médias, siltosas e argilosas e por sedimentos pertencentes à Formação Pirabas, Sauma Filho (1996). A Formação Pirabas é constituída por calcários diversificados intercalados com arenitos calcíferos, argilas negras e folhelhos rítmicos. Apresenta um variado conteúdo macro e microfossífero animal e vegetais piritizados, Rosseti et al. (2001).

Pelo menos parte do campus do Guamá foi projetada nos terrenos desapropriados de Affonso Freire, Antônio Cabral e outros. Essa área abastecia de argila uma antiga olaria que funcionava em seu interior. Os buracos deixados pela retirada de argila contribuam para o alagamento da área, tendo sido necessária a realização de um grande trabalho de aterro hidráulico. Utilizando uma draga de sucção para a retirada de areia de granulometria grossa do leito do rio Guamá, foi realizado o aterro e a compactação do solo, Pinto (2010).

A presença de heterogeneidades da subsuperfície nessas áreas, natural ou introduzida pela ação humana de lavra de argila e posterior aterro, pode ter gerado zonas mais susceptíveis à erosão, devido à introdução de material de maior permeabilidade.

No dia 4 de fevereiro de 2010, foi realizado um furo de sondagem a trado na estação 75 NE do perfil AB (Figura 1) de cerca de 1,8 m de profundidade, para descrição da seção geológica. O nível hidrostático foi observado a cerca de 0,8 m de profundidade na maré baixa. A Figura 3 mostra a seção geológica obtida.






Profundidade (m)	Representação	Descrição
NÍVEL 1 0,18		Camada de húmus Rica em raízes que ajudam na sustentação.
NÍVEL 2 0,50		Camada Areno-argilosa Cor amarelada
NÍVEL 3 0,67		Camada de Argila e Seixos Cor vermelho-alaranjada contendo concreções ferruginosas
NÍVEL 4 0,99		Camada de Silte e Argila Com coloração vermelho- amarelada
NH 0,8 m		
NÍVEL 5 ≥ 1,45		Camada Argilosa Com coloração cinza claro, e espessura de pelo menos 46 cm

Figura 3. Seção geológica para o furo na orla da UFPA. Nível hidrostático em tracejado.

As amostras do furo de sondagem foram secas em estufa e submetidas à análise granulométrica através do processo de peneiramento, seguindo o método para análise granulométrica descrito na NBR-7181/ABNT. Os resultados são apresentados nas Figuras 4 a 8, em que os diâmetros equivalentes das partículas foram lançados nas abscissas e as percentagens retidas, nas ordenadas.

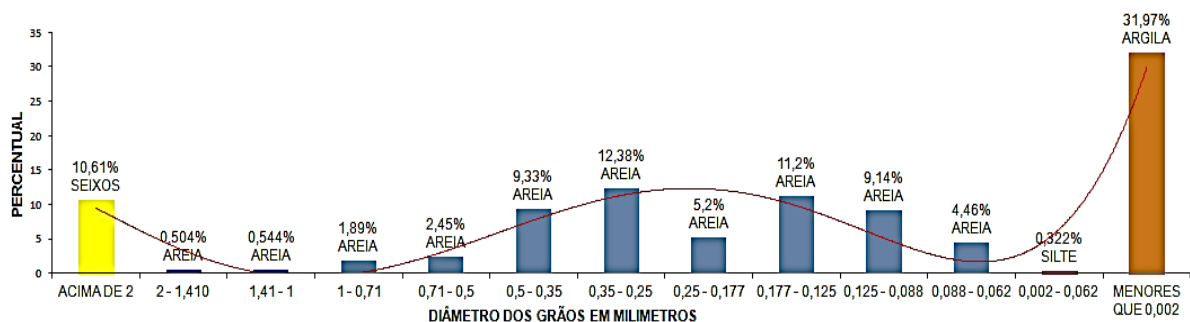


Figura 4. Resultado da análise granulométrica da amostra do nível 1 (0 a 18 cm), pesando 147 gramas.

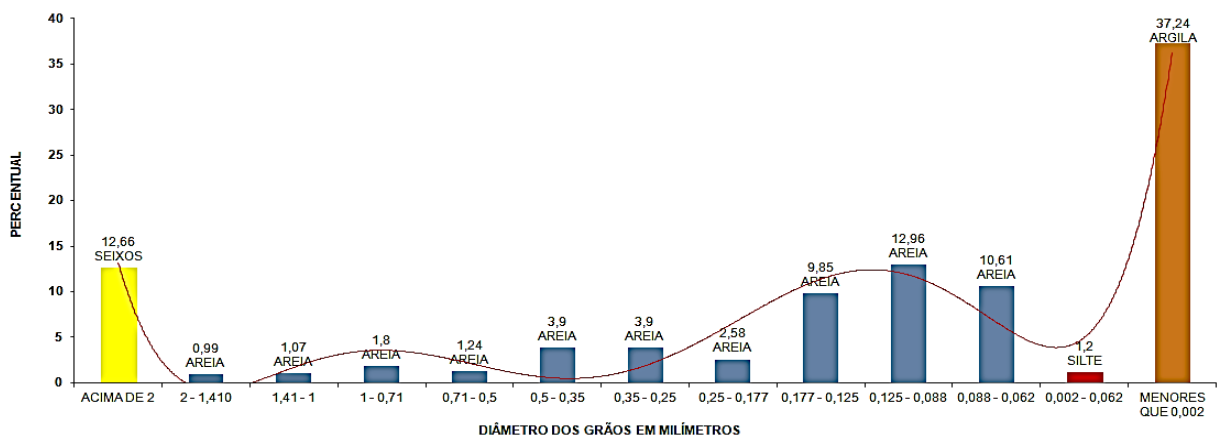


Figura 5. Resultado da análise granulométrica referente amostra do nível 2 (19 a 50 cm), pesando 155 gramas.

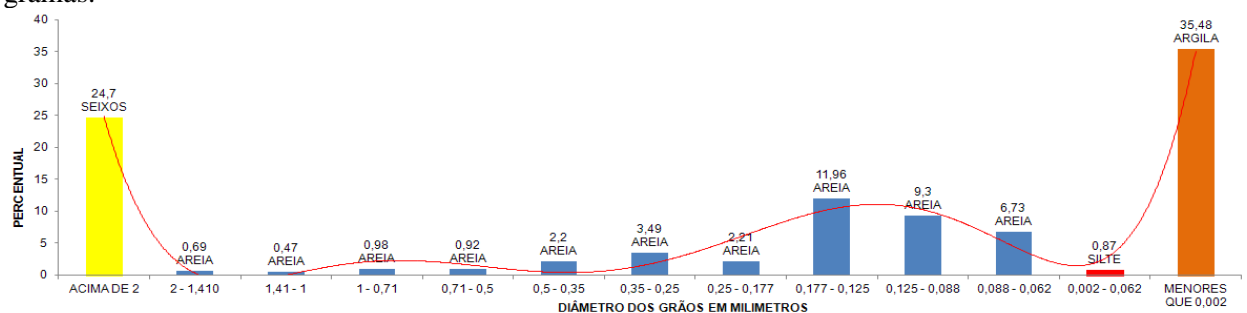


Figura 6. Resultado da análise granulométrica referente amostra do nível 3 (51 a 67 cm), pesando 162 gramas.

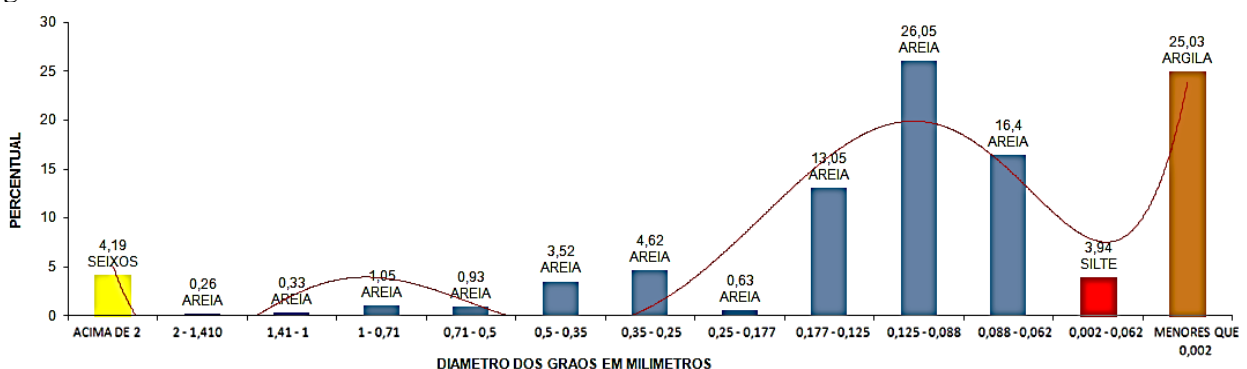


Figura 7. Resultado da análise granulométrica referente amostra do Nível 4 (68 a 99 cm), pesando 128 gramas.

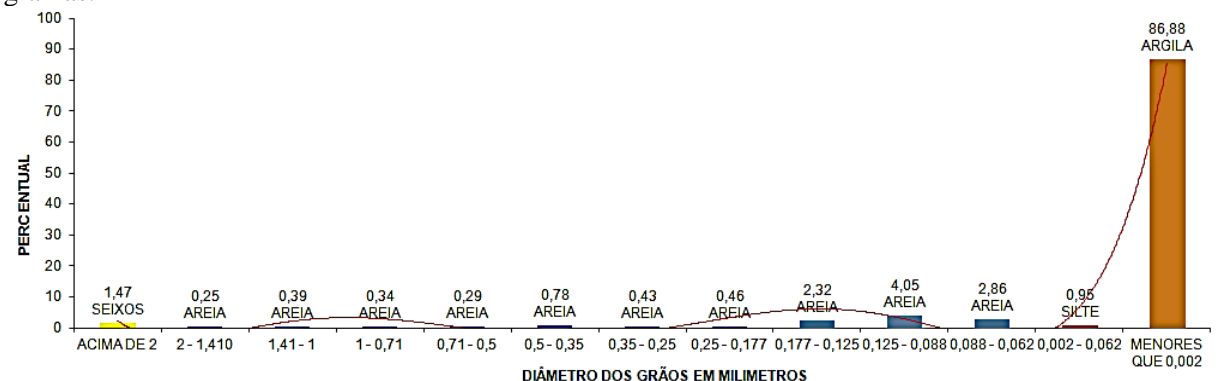


Figura 8. Resultado da análise granulométrica referente amostra do Nível 5 (100 a 149 cm), pesando 200 gramas.

Os gráficos mostram que o conteúdo de seixos é maior no terceiro nível e praticamente desaparece no 5º nível. O percentual em areia e silte são maiores no quarto nível. Finalmente, o percentual de argila é relativamente constante nos quatro primeiros níveis, crescendo para quase 90% no último nível.

Intensos processos erosivos observados na área de investigação, relacionados diretamente às correntes fluviais, causam acentuado desmoronamento da margem (SILVEIRA, 1992).

A suscetibilidade do solo em resistir aos processos erosivos, a erodibilidade, foi relacionada ao tamanho das partículas por Bovoucos em 1935, como segue:

$$k = \frac{(\text{Areia} + \text{Silte})}{\text{Argila}} 100, \quad (2.1)$$

em que k é a erodibilidade e Areia, Silte e Argila correspondem aos teores em percentagem de areia, silte e argila, respectivamente (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985 in MACÊDO, 2007). A relação de Bovoucos constitui uma medida do teor de material ligante das partículas, responsável pela resistência à erosão. Conseqüentemente, a erodibilidade aumenta quando os teores de areia e silte são elevados e diminui com a elevação dos teores de argila.

O resultado da análise granulométrica mostrado nas Figuras 4 a 8 foi usado para calcular o coeficiente “ k ” (fator erodibilidade), reunidos na Tabela 1.

ERODIBILIDADE				
NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3	NÍVEL 4	NÍVEL 5
$k = \frac{57,42}{31,97} = 1,79$	$k = \frac{39,82}{35,48} = 1,12$	$k = \frac{50,1}{37,24} = 1,35$	$k = \frac{70,78}{25,03} = \mathbf{2,82}$	$k = \frac{11,65}{86,88} = 0,14$

Tabela 1 – Erodibilidade para os níveis amostrados pelo furo na orla da UFPA. Destaque em negrito do maior valor de erodibilidade encontrado para o nível 4.

Fazendo a comparação do fator “ k ” de erodibilidade, percebemos que apresenta o maior valor no nível 4, onde provavelmente ocorre a erosão.

O efeito da maré, embora ocorra mais acentuadamente na camada basal de argila, a mais sujeita à ação direta da água do rio que entra (alta mar) e que sai (baixa mar) todos os dias, é visivelmente mais acentuada no contato desta camada com a camada de cima, devido a sua maior erodibilidade em relação às demais camadas, conforme apresentado na Tabela 1.

A baía de Guajará apresenta um regime hidrodinâmico elevado, comprovado pelos baixos teores de argila presentes nos sedimentos de fundo. Na área de investigação, a variação da maré atinge 3,6 m em condições de sizígia, Miranda (2006). Notadamente, a baixa

topografia local favorece o alargamento da planície de inundação ao longo da região influenciada pela maré.

Por localizar-se em uma área de domínio fluvial sob impacto de marés, a vazante dura mais tempo que a enchente, principalmente nos períodos de sizígia (Figura 9), e a salinidade é muito baixa.

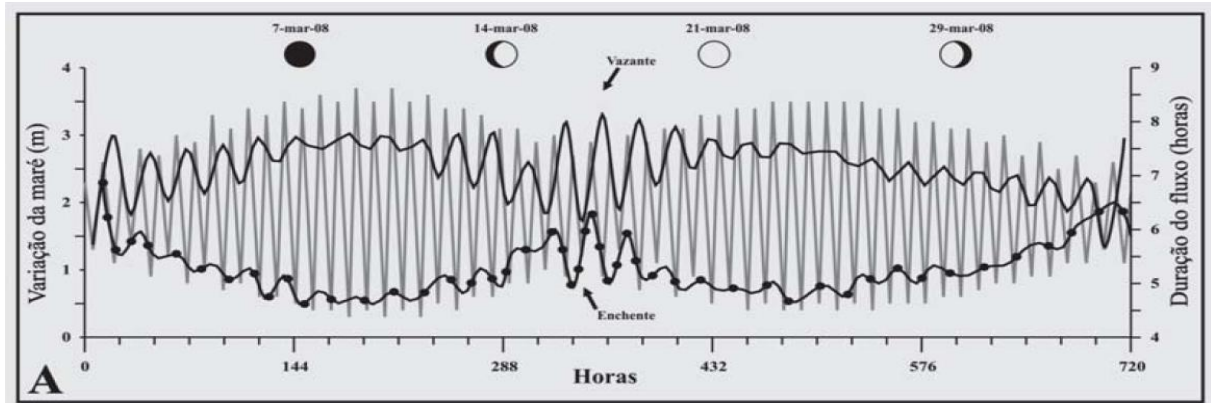


Figura 9. Variação da maré dos fluxos de enchente e de vazante na baía de Guajará durante 720 horas (1 a 31 de março de 2008) e as fases da lua (MARINHA DO BRASIL, 2009).

Intensos processos erosivos observados na área de investigação, relacionados diretamente às correntes fluviais, causam acentuado desmoronamento da margem, Silveira (1992).

O efeito da maré, embora ocorra mais acentuadamente na camada basal de argila, a mais sujeita à ação direta da água do rio que entra (alta mar) e que sai (baixa mar) todos os dias, é visivelmente mais acentuada no contato desta camada com a camada de cima, devido a sua maior erodibilidade em relação às demais camadas. O topo da seção, conseqüentemente, desmorona, apesar das raízes presentes de bambuzais e gramíneas, que dão a ela maior resistência à erosão (Figuras 10).

A prefeitura do Campus testou diferentes tipos de contenção: muro de concreto, sacos de concreto e malha de aço preenchidos com cascalho. Uma grande parte da mureta, a contenção mais antiga, já desabou ou está fraturada. A situação mais crítica encontra-se na área do campus profissional da UFPA, onde os desmoronamentos já alcançaram a pista asfaltada, ocasionando a interdição da área pela prefeitura do campus. Após pequena obra de contenção, que consistiu na deposição de sacos de cimento nos locais erodidos, e reasfaltamento dos trechos atingidos.



Figura 10. Foto mostrando em detalhe a erosão na orla do rio Guamá na UFPA, fazendo a comparação ilustrativa com uma caneta ao centro. Dias (2011).

MÉTODO ELÉTRICO POTENCIAL ESPONTÂNEO

O Método do Potencial Espontâneo envolve a medição do potencial elétrico associado a correntes elétricas naturais que fluem pela subsuperfície. O SP já era conhecido no século XIX, mas só se tornou comercial em 1913, quando Schlumberger descobriu um jazimento de sulfetos com o método, Orellana (1974).

O fenômeno do SP não é só provocado por corpos metálicos como corpos de sulfetos. Também o movimento de fluidos na subsuperfície causa o fenômeno, bem como a atividade bioelétrica de materiais orgânicos, a corrosão e os gradientes térmicos, entre outros. Neste trabalho, o interesse recai na movimentação de fluidos resultantes das chuvas e, especialmente, da mudança de maré em zonas preferenciais da subsuperfície, que seriam por isso mesmo, zonas preferenciais de erosão.

POTENCIAL DE FLUXO

O potencial gerado pela movimentação de fluidos em subsuperfície é conhecido como Potencial de Fluxo ou Eletrofiltração. A movimentação do eletrólito através de uma membrana porosa produz uma diferença de potencial entre os dois lados da mesma. Considerando a porosidade do substrato como uma rede de capilares por onde percolam as águas da superfície, então o comportamento do substrato pode ser visto como uma membrana. Os ânions são adsorvidos pelas paredes dos capilares e irão atrair os cátions, estabelecendo-se uma dupla camada elétrica. Desta maneira os cátions são movidos através dos capilares pelos fluxos ali presentes ao passo que os ânions permanecem fixos. A partir daí surge uma

diferença de potencial ΔV entre o ponto inicial e o final do percurso, que obedece a equação de Helmholtz:

$$\Delta V = \frac{\xi \epsilon P}{\eta \sigma} \quad (1)$$

em que ξ é a diferença de potencial da dupla camada, ϵ é a constante dielétrica da solução, P é a diferença de pressão hidrostática entre os extremos do capilar, η é a viscosidade da solução e σ é a sua condutividade, Orellana (1974).

O potencial de fluxo mais importante é o per descensum, Schlumberger (1975) apud Orellana (1974), provocado pela infiltração d'água da chuva em terrenos permeáveis ou ao longo de falhas e fraturas. Os cátions são removidos pela água e, nos locais topo graficamente mais elevados, surgem núcleos eletricamente negativos (Figura 11). A investigação neste trabalho está voltada para o potencial de fluxo per descensum, mais o potencial de fluxo provocado pelo movimento das marés.

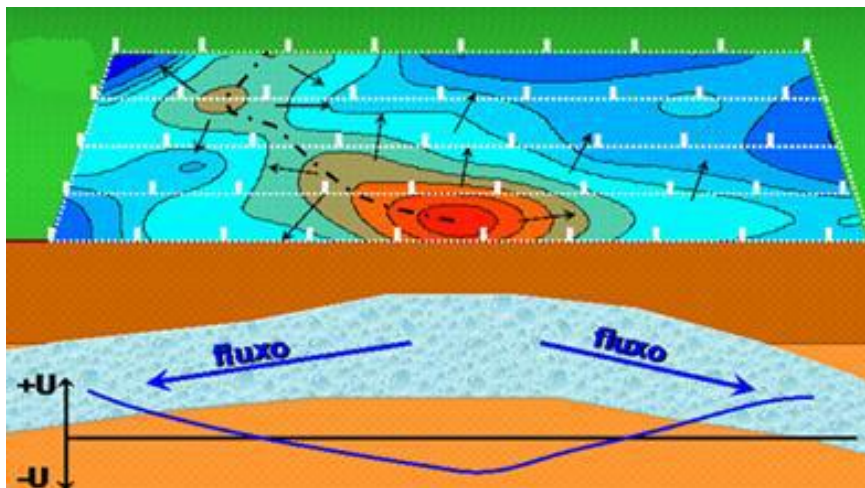


Figura 11. Eletrofiltração. Braga (2008).

MÉTODO DOS POTENCIAIS

O método dos potenciais requer que um dos eletrodos seja mantido fixo em uma estação-base no infinito, tipicamente a de seis vezes no mínimo a distância entre dois eletrodos, enquanto o outro percorre os pontos de medidas nos perfis de levantamento (Figura 12). O levantamento é efetuado conectando-se um dos polos do instrumento de medidas à base fixa, enquanto o outro polo do instrumento é conectado ao eletrodo móvel que é deslocado. As posições N, N' e N'' referem-se às sucessivas posições do eletrodo itinerante.

O deslocamento do eletrodo móvel é realizado por meio de um cabo, contido em uma bobina, que é desenrolada à medida que avança o levantamento.

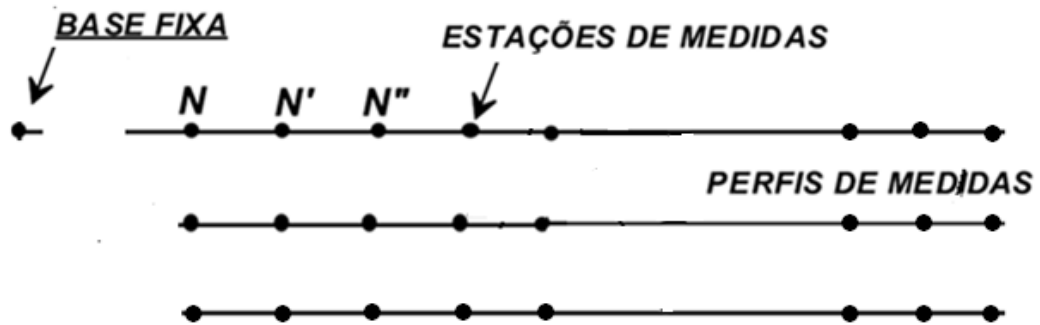


Figura 12. Esquema de aquisição de dados de SP através do Método dos Potenciais.

AQUISIÇÃO DOS DADOS

O levantamento dos dados de Potencial Espontâneo foi realizado ao longo do perfil AB com 600 m (Figura 1), em estações espaçadas de 2 m, totalizando 212 estações. Os dados foram adquiridos nos dias 6 e 7 de junho de 2010, período de maré baixa, e nos dias 10 e 11 de junho de 2010, período de maré alta.

As estações de medidas foram preparadas de modo a se ter pequenos orifícios da ordem de 5 cm de profundidade livres de grama e de raízes superficiais, feitos com draga do início da ponte do Tucunduba até 30 m antes do Porto de Canoagem (Figura 1). Alguns orifícios não foram feitos, pois a erosão já havia atingido o local, impedindo desta forma a instalação de estações de medida.

Foram empregados eletrodos não polarizáveis de cobre em solução saturada de sulfato de cobre (Cu-Cu₂SO₄) e um voltímetro de elevada impedância de entrada (da ordem de 1014 ohms) construído pelo Prof. Geraldo Alves da UFPA.(Figura 14)

As medidas foram realizadas com o método de potenciais com o eletrodo da base fixa colocado a 6 m do início da primeira estação, próxima à pista lateral, enquanto o segundo eletrodo percorreu as estações no sentido SW a NE, realizando as medidas até a estação 478 NE. Outra base fixa foi disposta a 6 m da última estação, enquanto o segundo eletrodo percorreu as estações no sentido NE a SW, realizando as medidas da estação 600 NE até a estação 470 NE. A diferença entre as bases de referência foi de 19 mV, valor usado na correção das medidas obtidas com as diferentes bases. O levantamento terrestre foi registrado em caderneta de campo com o dia e a hora e a identificação da maré.



Figura 13. A - Foto ilustrando o posicionamento do eletrodo usado no levantamento, livre de raízes e grama. B - Bobina, contendo o cabo que acompanha o deslocamento do eletrodo pelas estações de medição.



Figura 14. A - Foto ilustrando o eletrodo mergulhado na solução saturada de sulfato de cobre. B - Esquema ilustrativo. C - Voltímetro usado no levantamento.

INTERPRETAÇÃO

Os dados foram submetidos às seguintes operações:

- i) Correção entre as medidas adquiridas com diferentes bases;
- ii) Multiplicação dos dados por -1 para que altos nos dados correspondam a posições a partir das quais a água foi para os “baixios” (inverso do observado na (Figura 11), o que simplifica a interpretação – os dados assim tratados serão chamados de voltagem espelhada;
- iii) Ajuste de polinômio de grau 6 às medidas, de forma a minimizar os ruídos de baixas e intermediárias frequências espaciais existentes nos dados;
- iv) Cálculo do resíduo entre o polinômio ajustado para os dados obtidos na maré baixa e o polinômio ajustado para os dados medidos com maré alta.

Os gráficos mostram que as medidas de SP variam com a maré, sendo muito mais ricas em oscilações na maré alta, provavelmente porque aumenta o aporte de água disponível para o fenômeno da eletrofiltração. São as medidas do perfil maré altas que mais chamam a atenção, especialmente aquelas que, apesar de oscilações, formam um alto de voltagem espelhada que representaria o “canal” ou “canais” ao longo do qual a água fluiria perpendicularmente ao perfil bem como para suas laterais. A seguir são destacadas algumas zonas do perfil SP mostrado na Figura 15 que mostram o padrão geral de anomalia SP gerada por potencial de fluxo (altos valores ladeados por baixos valores de voltagem espelhada).

Zona 1: As medidas em maré alta possuem muitas oscilações, mas formam um alto de voltagem espelhada ladeado por baixos em relação às medidas obtidas em maré baixa, sugerindo que a zona funcione parcialmente como um “canal”. De fato, a erosão assume um valor máximo entre 110 e 145NE, com sacos de cimento mostrados na Figura 15, entre 117 e 124NE, onde ocorre uma baixa voltagem espelhada, que poderia ser indicativa do bloqueio formado pela contenção. Por outro lado, por volta de 60NE, onde ocorre um mínimo de voltagem, a erosão aproxima-se do perfil como mostra a figura 15; em dezembro de 2011, o levantamento GPS detectou o desmoronamento do local. As observações, portanto, sugerem que as zonas mais susceptíveis à erosão se caracterizam por intensa oscilação das medidas, valores elevados e, ocasionalmente, por valores baixos, estes últimos, com frequência, relacionados a zonas com contenção. Na zona 1, por exemplo, a porção a SW de 110NE pode estar prestes ao desmoronamento.

Zona 2: Ocorre um alto de voltagens espelhadas em maré alta, coincidindo aproximadamente com a fossa, ilustrada pela foto da figura 15.

Zona 3: As medidas em maré alta formam valores altos de potencial espelhado em relação às medidas obtidas em maré baixa. Uma zona de prováveis ruídos culturais secciona ao meio esta zona de valores elevados espelhados. Uma diferença desta zona em relação à zona 1 é a menor incidência de oscilações nas medidas, o que pode estar relacionado à presença de vegetação e, ainda, à distância maior do perfil à orla.

Zona 4: Neste trecho ocorrem elevações da voltagem em maré alta, guardando certa analogia com a zona 1. Aqui, também, o perfil encontra-se mais próximo à orla. Na zona existe fossa (T), mas destaca-se que ela ocorre após o término de zona de contenção.

A comparação entre os dados obtidos para as duas marés, Figura 15, mostra o que segue.

i) De 0 até cerca de 250NE, as duas curvas polinomiais mostram a mesma tendência indicativa do fluxo da água subterrânea caminhar no sentido SW.

- ii) Entre aproximadamente 250 a 525NE, as curva polinomiais têm comportamento diferente. Esse trecho é o mais afetado pela erosão, de modo que o aumento do SP obtido em maré alta deve ser reflexo da saturação em água, principalmente no trecho erodido entre 400 a 500NE. Esse “canal” principal permitiria o movimento da água na direção SE-NW e, secundariamente, tanto para SW como para NE.
- iii) De 525 a 600NE, as curvas passam a ter o mesmo sentido, indicando fluxo de água na direção NE.

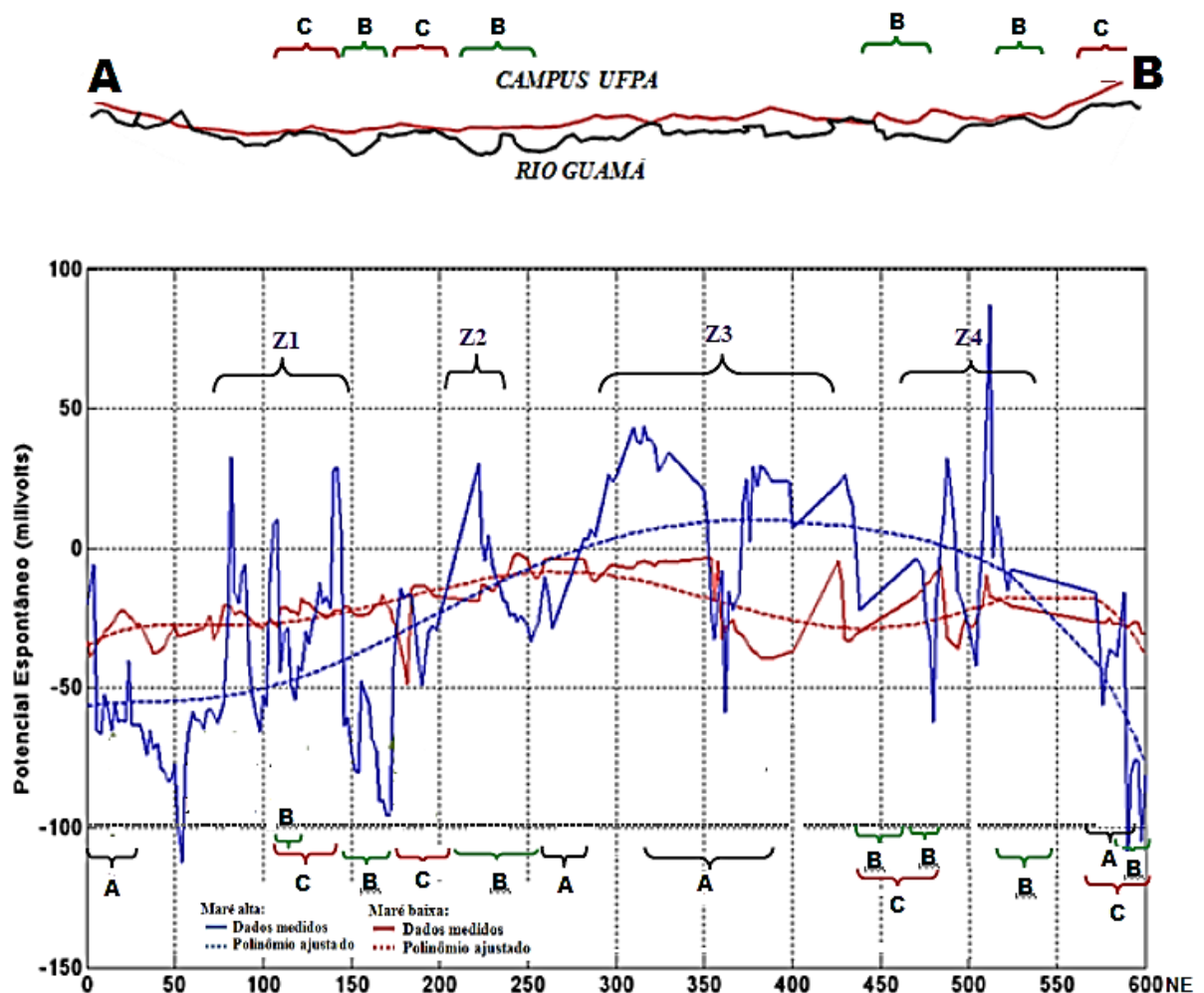


Figura 15. Potencial Espontâneo nas marés: alta (linha mais alta e com mais tonalidade) e baixa (linha mais baixa e com menos tonalidade). Polinomiais ajustadas em tracejado (grau 6). As letras A: indica erosão, B: contenção, C: erosão mais intensa. Chaves acima mostrando as zonas destacadas na interpretação (Z1, Z2, Z3 e Z4). Acima: linha AB (perfil acima) e contorno do rio (abaixo).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação teve como base o levantamento de medidas tanto na maré baixa com na maré alta e a comparação entre os resultados, como forma de rastrear a penetração de água no terreno trazido pela maré alta, tanto maior quanto mais efetivo o caminho introduzido pelo fenômeno da erosão.

Na área investigada aparece a erosão e, localmente, diferentes tipos de contenção, o que torna a mesma um campo de testes para a modelagem em escala real geológica.

Os resultados obtidos com todos os métodos geofísicos utilizados – Potencial Espontâneo (SP) mostra que os dados obtidos em maré alta variam consideravelmente em relação aos dados obtidos em maré baixa e que seus comportamentos indicam zonas onde a erosão é mais proeminente e zonas onde a mesma mostra-se contida. Essas indicações podem auxiliar consequentemente, na previsão de locais onde o desmoronamento do terreno provocado pela erosão está prestes a ocorrer bem como na análise da eficácia da obra de contenção realizada.

As medidas SP, na zona Z1 (75-150NE) (Figura 15), por exemplo, formam um pico negativo da voltagem (positivo da voltagem espelhada) por volta de 85NE, que, poderia ser reflexo da atuação de erosão, podendo indicar uma zona com desmoronamento eminente. O mesmo ocorre na zona Z3 (292-427NE) (Figura 15), em especial por volta de 370-385NE. Neste trecho ocorreu desmoronamento após o trabalho de campo, por volta de 380NE.

O problema, contudo, não é simples, porque a água infiltrada no solo a partir da superfície pode ser dividida em três partes. A primeira permanece na zona não saturada (zona onde os vazios do solo estão parcialmente preenchidos por água e ar), acima do nível freático.

A segunda parte, denominada Inter fluxo (escoamento subsuperficial) pode continuar a fluir lateralmente, na zona não saturada, a pequenas profundidades, quando existem níveis pouco permeáveis abaixo da superfície do solo e alcançar os leitos dos cursos d'água.

A terceira parte pode percolar até o nível freático constituindo os recursos renováveis dos aquíferos, Feitosa (2000). Todos esses são, portanto, caminhos que podem oferecer contraste nas propriedades elétricas. Os caminhos preferenciais da água subsuperficial podem também representar rotas para a entrada de água trazida pela maré alta e, por esse meio, para o trabalho erosivo. É necessário considerar também que variações litológicas dão também sua contribuição aos dados. Finalmente, para a área estudada, que ela se encontra com eventos de erosão com contenção, às vezes, diversa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba/SP: Livroceres, 1985.

BRAGA, A.C.O. **Métodos Geométricos Aplicados na Caracterização Geológica e Geotécnica – Formações Rio Claro e Corumbataí, no Município de Rio Claro – SP**. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1997.

CARVALHO JR., M. A. F. **Aplicação de Métodos Geofísicos ao Estudo de Águas Sub-terrâneas na Grande Belém (Cemitério do Bengui)**. Belém, DGF/CG/UFGA. TCC. 64 p., 1997.

CARVALHO Jr.; M. A. F.; Silva, L. M. C. **Métodos Geofísicos aplicados ao Estudo do Fluxo da Água Subterrânea sob Cemitério**. In: WORKSHOP DE GEOFÍSICA APLICADA AO MEIO AMBIENTE, 1, Belém, 1996. Resumos Expandidos Belém: p. 47-49, SBGF, 1996.

DIAS, G. N. **Estudo geofísico sobre a erosão fluvial do rio Guamá na orla da Universidade Federal do Pará, Belém (PA)**. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará – Belém, 2011.

FEITOSA, F. A.C. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações 2ª edição**, Fortaleza: CPRM, 2000

MACEDO, R. S. et all. **Índice de erosividade das chuvas em Coari-AM**. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do solo, de 05 a 10 de agosto. Gramado-RS: Centro de Convenções, 2007.

MERCÊS, S. **Relatório Ambiental da Região Metropolitana de Belém- RMB**. Belém: COHAB, 1997.

MIRANDA, A. G. **Dinâmica batimétrica da Baía de Guajará (Belém/PA)**. 2006. 49 f. Mono-grafia (Bacharelado em Oceanografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2006.

ORELLANA, E. *Prospeccion Geoelectrica por Campos Variables*. Madri, Paraninfo, p.561, 1974.

PINHEIRO, R. V. L. **Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico do Estuário Guajará Belém (PA)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 164p. (Dissertação de Mestrado), 1987.

PINTO, W. Disponível em: <www.ufpa.br/beiradorio/novo/index.php/2007/108-edicao-especial-50-anos-da-ufpa/309-a-fundacao-do-campus-pioneiro-da-ufpa>, acessado 30/10/ 2010.

RIBEIRO, H.M.C. **Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém-Pa)**. 1992. 205 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1992.

ROSSETTI, D.F.; Góes, A.M. *Imagine upper Tertiary to Quaternary deposits from northern Brasil applying ground penetrating radar*. Revista Brasileira de Geociências, Curitiba, v.31 n. 2, p. 101-128, 2001.

SAUMA FILHO, M. **As águas subterrâneas de Belém e adjacentes: Influência da formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade**. 1996. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – UFPA, Centro de Geociências, Belém, 1996.

SCHLUMBERGER LOG INTERPRETATION CHART. *Schlumberger Limited*, New York, Vol. I, 156 p., 1975.

SILVEIRA, O. F. M. **Estudo batimétrico/sonográfico do Estuário Guajará, Belém/PA**. 1992. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Geociências, UFPA, Belém, 1992.