

## GEOFÍSICA APLICADA AO ESTUDO DOS FLUXOS SUBSUPERFICIAIS NO ENTORNO DA LAGOA DA CONFUSÃO – TO

Gilney Cardoso Pereira  
Universidade Federal do Tocantins  
gil\_cardoso75@hotmail.com

Fernando Morais  
Universidade Federal do Tocantins  
morais@uft.edu.br

### EIXO TEMÁTICO: GEOGRAFIA FÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

#### RESUMO

O presente trabalho visou à caracterização dos fluxos subsuperficiais no entorno da Lagoa da Confusão com a utilização de métodos geofísicos. Para tanto, utilizou-se de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização das variáveis geomorfológicas e elaboração de mapas de hipsometria e declividade. Além de uma técnica pouco comum em pesquisas geográficas, a geofísica aplicada para caracterização da organização estratigráfica por meio de Sondagem Elétrica Vertical (SEV). Os resultados mostraram que os métodos são eficientes para a determinação da direção dos fluxos subsuperficiais, principal agente modelador do relevo carbonático. Dados de sensoriamento remoto foram úteis para a definição dos pontos para a realização dos ensaios geofísicos. Os resultados apontaram para um controle geológico estrutural na evolução do relevo da área estudada, indicando a possível presença de falha geológica no sentido Sul-Norte, que controla os fluxos hídricos subsuperficiais atuais.

**Palavras Chaves:** Sistema Cárstico; Geofísica Aplicada; Fluxos Subterrâneos.

#### ABSTRACT

This work aimed at the characterization of subsurface flows in the vicinity of the Lagoa da Confusão with the use of geophysical methods. For this purpose, we used remote sensing techniques for the characterization of the variables and geomorphological mapping of hypsometry and slope. Beside a technique uncommon in geographical surveys, the applied geophysics methods to characterize the stratigraphic setting through Vertical Electrical Sounding (VES). The results showed that the methods are efficient for determining the direction of throughflow, that is the main agent in the carbonate relief evolution. Remote sensing data were useful for defining the points for the geophysical essays. The results point to a structural geological control on the evolution of the topography of the study area, indicating the possible presence of a fault in the direction South-Northern, which controls the current groundwater flows.

**Key-Words:** Karstic System, Applied Geophysics, Groundwater Flows.

#### INTRODUÇÃO

A geomorfologia cárstica tem como principal característica, rochas passíveis de sofrerem dissolução química, que são as rochas carbonáticas. Por muito tempo o carste teve suas partes (exocarste, endocarste e epicarste) estudadas de formas isoladas, dificultando em muitos casos o entendimento do sistema como um todo. Contudo, mais recentemente, este tipo relevo passou a ser abordado de maneira sistêmica, levando à proposta de Klimchouk e Ford (2000), que defendem a

denominação de sistema cárstico em substituição ao, antes utilizado, relevo cárstico, analisando-se não somente a porção carbonática do sistema, mas também sua interação com rochas não-carbonáticas de sistemas adjacentes.

Malagutti e Cottas (1993) destacam o avanço tecnológico e aperfeiçoamento das metodologias das ciências geológicas como base para melhorar a compreensão das composições do meio físico para satisfazer as diferentes necessidades impostas pelo homem. Para Junior *et al.* (2008), o sensoriamento remoto constitui boa ferramenta para descrever padrões exocársticos e entender os mecanismos que condicionam a evolução desse sistema.

Na porção centro-oeste do estado, ocorre uma série de lagoas associadas ao grande sistema fluvial da planície do médio Araguaia. Dentre essas lagoas, uma se destaca por suas dimensões, a Lagoa da Confusão. Nas proximidades dessa lagoa, ocorre ainda na área uma caverna com dimensões conhecidas superiores a 1 km. Esta caverna se desenvolve em um padrão de condutos do tipo "espongiforme", e está situada à margem direita do rio Urubu. Para Pontalti (2010), esta área constitui um polje e, segundo Auler (2003), foi gerado a partir do alagamento sazonal das lagoas da região. Assim, o presente estudo está focado no entendimento da evolução geomorfológica desta área.

### Localização e Aspectos Fisiográficos da Área de Estudo

A área de estudo está localizada na porção centro-oeste Estado do Tocantins, no município de Lagoa da Confusão (**Figura 1**), que está enquadrado entre as coordenadas UTM 646437 E, 8797105 S e 654860 E, 8809033 S, Fuso 22, Projeção WGS-1984.

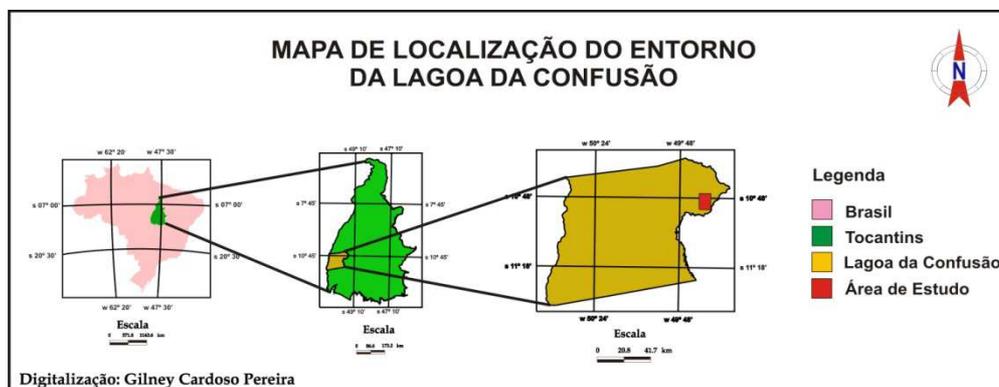


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo em Lagoa da Confusão - TO.

Localizada na bacia sedimentar do Bananal, a área de estudo tem sua geologia composta por embasamento Neoproterozóico do Supergrupo Baixo Araguaia – com afloramentos calcários da Formação Couto Magalhães, que além dos calcários apresenta filitos, ardósia, metargilito, metarenito e quartzitos subordinados. Recobertos por sedimentos Quaternários com depósitos aluvionares de sedimentos arenosos e argilosos consolidados e inconsolidados. Esta área é caracterizada como uma planície fluvio-lacustre, com inúmeras lagoas e canais intermitentes, com padrão de drenagem anastomosado sujeitos a inundações na estação chuvosa (GORAYEB, 2011).

Clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial apresentando uma variação média anual entre 1.400 e 1.700 mm, distribuindo-se no verão em torno de 390 e 480 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada 28° C. O cerrado é o bioma predominante da área de estudo e entorno. Os solos da região são Plintossolos composto por argila, silte e areia (SEPLAN, 2008).

## OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é identificar a profundidade do contato geológico entre os sedimentos Quaternários e as formações carbonáticas daquela área. Além de tentar entender como se dão os fluxos subterrâneos nas proximidades da gruta Casa de Pedra e da Lagoa da Confusão. Secundariamente, objetiva-se confirmar a aplicabilidade dos métodos geofísicos (eletroresistividade) em estudos dessa natureza.

## MATERIAL E MÉTODOS

As atividades realizadas da pesquisa foram distribuídas em 4 etapas, sendo a primeira constituída de levantamento bibliográfico para embasamento teórico sobre o tema geomorfologia cárstica e métodos geofísicos aplicados a estudos geomorfológicos. Visitas de campo para reconhecimento inicial e delimitação da área a ser estudada. Além de elaboração de base cartográfica para os trabalhos de campo (hipsometria, declividade, localização dos ensaios geofísicos). Os mapas foram elaborados com uso do *software* SPRING 5.1.8, utilizando-se de mapas geológicos, cartas topográficas e imagens do satélite ResourceSat-1, sensor LIS3.

Numa segunda etapa, foram realizadas sondagens elétricas verticais (SEV's), utilizando-se o arranjo Schlumberger, no interflúvio Lagoa da Confusão – rio Urubu, visando identificar a profundidade do lençol freático e do contato dos sedimentos Quaternários com o calcário subjacente, além de possíveis fraturas ou outras feições geológicas, que influenciem nos fluxos subsuperficiais da área. Tais levantamentos geofísicos seguiram os procedimentos descritos por Veress (2009). Finalmente, foi feita uma análise integrada dos resultados, buscando-se lograr os objetivos propostos.

## RESULTADOS E DISCURSÕES

O presente trabalho utilizou-se de técnicas de geofísica aplicadas à geomorfologia cárstica, visando identificar a morfologia subsuperficial (epicarste) da área estudada de forma a entender a evolução do sistema cárstico do entorno da Lagoa da Confusão. Para a caracterização geomorfológica do entorno da área de estudo foram confeccionados mapas de hipsometria e declividade utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) SPRING 5.1.8, para posteriormente serem feitas a interpretação conjunta com dados geológicos, para somente então correlacionar com os dados dos ensaios geofísicos.

O mapa de hipsometria (**Figura 2A**) permite identificar as variações das altitudes em cotas

coloridas de 20m, com variação total de 154 a 225m, tendo uma amplitude de 71m, sendo que 95.300km<sup>2</sup>, ou seja, 91% da área de estudo, apresentam cotas altimétricas de 174 a 194m.

O mapa de declividade (**Figura 2B**) apresenta 80% da área de 0-3% de declividade, caracterizando assim uma superfície plana, local ideal para execução das SEV's em estudos hidrogeológicos, uma vez que as variáveis topográficas podem influenciar diretamente nos resultados, diminuindo a confiabilidade dos dados e tornando inviável a sua aplicação (BRAGA, 2007).

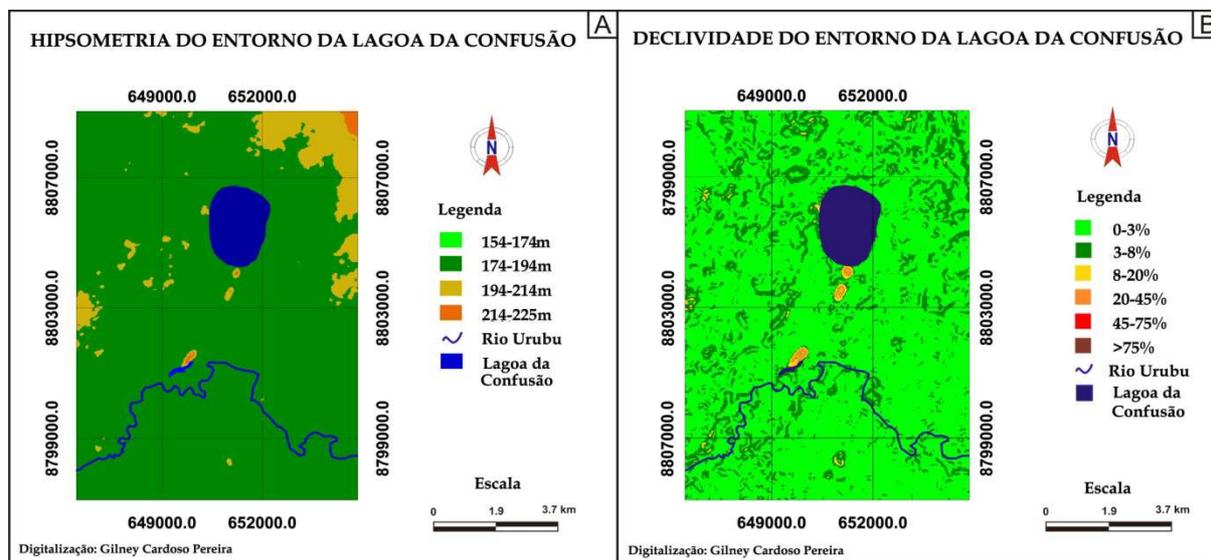


Figura 2 – Mapa hipsométrico (A) e de declividade (B) do entorno da Lagoa da Confusão.

A partir do perfil topográfico SW-NE da área de estudo (**Figura 3**), conclui-se que mesmo apresentando relevo predominantemente plano, existem na área alguns afloramentos de calcários que se destacam topograficamente. Estes afloramentos são aproveitados economicamente para exploração de calcário, que constitui insumo para a correção do solo, já que trata-se aqui de uma região com grande potencial agrícola. Vale ressaltar que em um desses afloramentos está situada a gruta Casa de Pedra, que fica próximo a Lagoa da Confusão.

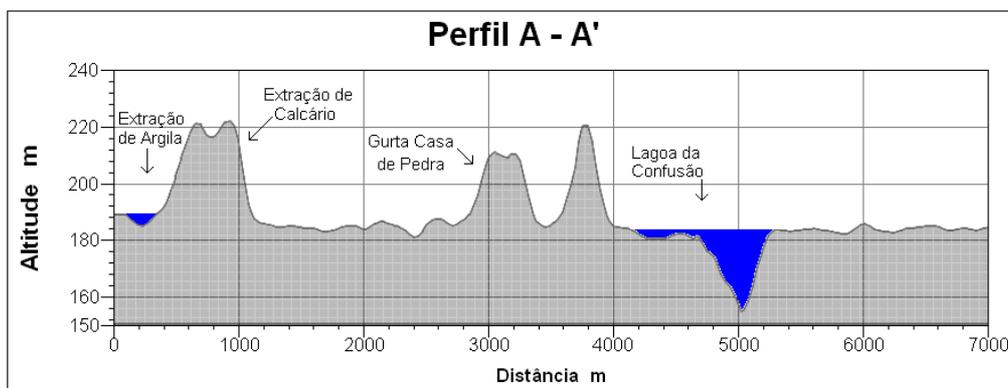


Figura 3 – Perfil topográfico A – A' da figura 5.

Por serem eficientes na caracterização da estratigrafia horizontal pela variação das resistividades da composição mineral dos materiais, as SEV's são bastante aplicadas para a

delimitação de corpos minerais subsuperficiais e mesmo para identificação da profundidade e forma do contato geológico entre estes corpos mineralizados e o material sobrejacente.

A técnica da SEV consiste em medir a resistência que os materiais apresentam frente à passagem da eletricidade por seus corpos, e pode variar em função de composição mineral, sendo medida em ohms por metro ( $\Omega.m$ ). Podemos observar os valores de resistividade de algumas rochas (**Figura 4**), que são obtidos a partir da diferença da corrente que é aplicada em um dado corpo por aquela tem sua saída permitida pelo mesmo corpo, lembrando que o movimento dessa corrente é dependente de fator geométrico particular a cada arranjo geoeletrico ( $K$ ), a saber:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} k \quad (1)$$

Sendo ( $K$ ) definido pela equação:

$$K = \pi \left( AM \cdot \frac{AN}{MN} \right) \quad (2)$$

O valor encontrado por esse cálculo é a resistividade que por conta da heterogeneidade da composição das rochas chamamos de resistividade aparente ( $\rho_a$ ).

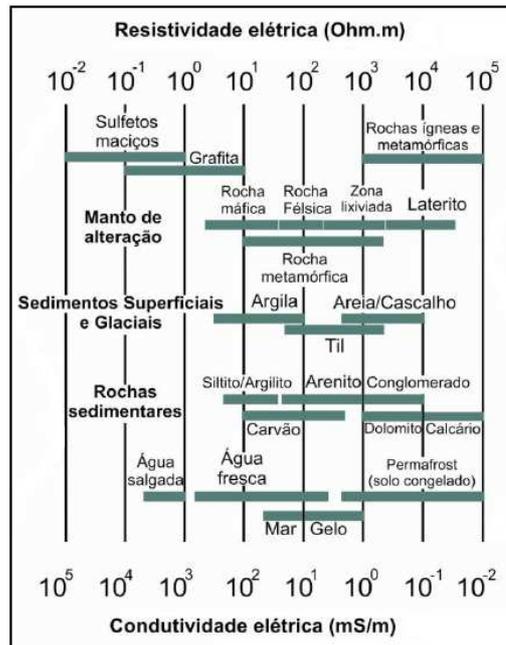


Figura 4 – Resistividade e condutividade de algumas rochas. Adaptado de Fachim (2007).

Na visita de campo foram realizadas sondagens elétricas verticais com uso do arranjo Schlumberger para a distribuição dos eletrodos na superfície do terreno. Neste arranjo, são fixados dois eletrodos (corrente) por meio dos quais uma carga elétrica é injetada no terreno; outros dois eletrodos (potencial) são fixados em pontos adjacentes com a função de receber a porção desta carga elétrica que não foi retida pelo material. Tal arranjo possui a vantagem sobre os demais pelo fato de

requisitar o deslocamento de apenas dois eletrodos (eletrodos de corrente, A e B), enquanto nos demais necessita-se deslocar todos os eletrodos (corrente e potencial) a medida que o levantamento vai evoluindo em profundidade. Uma visão detalhada dos métodos geofísicos, com as vantagens e desvantagens de cada arranjo pode ser vista em Braga (2007).

As SEV's foram realizadas intencionalmente no interflúvio da Lagoa da Confusão com o rio Urubu (**Figura 5**), buscando-se entender o comportamento dos fluxos subterrâneos e seu papel no desenvolvimento da gruta Casa de Pedra.

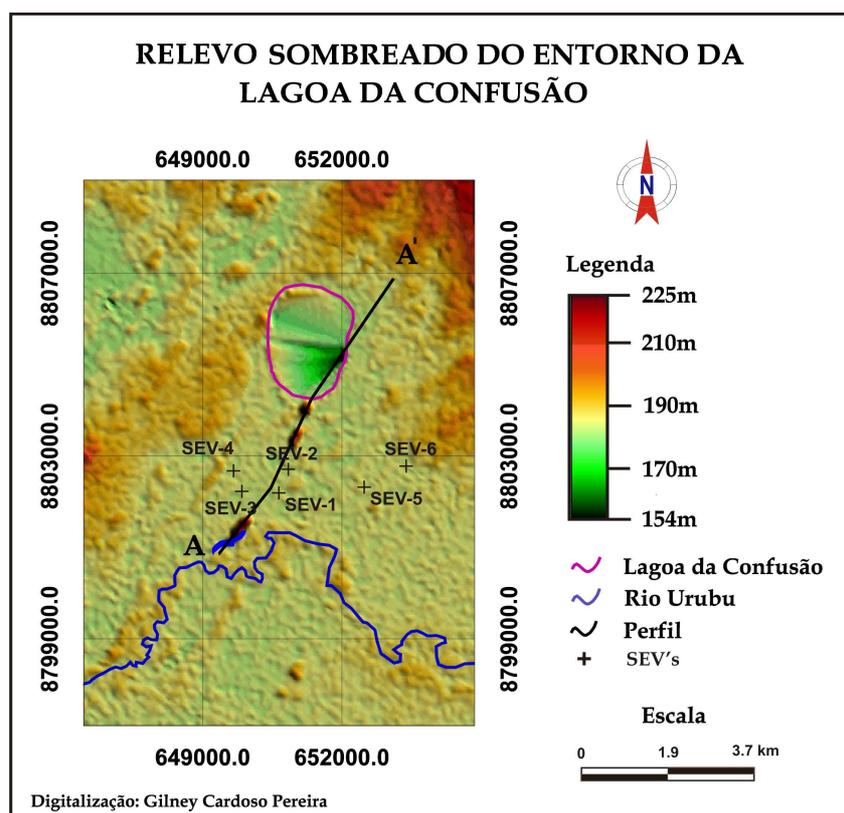


Figura 5 – Mapa de relevo sombreado com a localização das SEV's realizadas no entorno da Lagoa da Confusão.

Foram realizadas seis SEV's utilizando o arranjo Schlumberger com abertura máxima dos eletrodos de corrente de 180m ( $AB/2= 90m$ ) e a distância de MN constante de 4 metros, buscando-se o melhor conhecimento da estratigrafia da área. Para a interpretação dos dados das SEV's foi utilizado o programa de computador IPI2win, onde foram definidas a espessura e a profundidade das camadas, bem como o nível do lençol freático. Onde (N) é o número de camadas, ( $\rho$ ) resistividade, (h) espessura das camadas e (d) profundidade das camadas em relação à superfície (**Figura 6**).

Por meio da interpretação das SEV's, pode-se inferir que a profundidade máxima investigada foi de 42.6m (**Figura 6A**). Em todas SEV's foram encontradas duas camadas, sendo a primeira areno-argilosa não-saturada, e a segunda camada argilosa saturada, que pode ser confirmada por meio de observações *in loco* de escavações para extração de argila, realizadas por uma empresa próximas às SEV's. Foram encontradas diferentes profundidades e espessuras das camadas.

Foi calculada a condutância longitudinal ( $S_i$ ) dos perfis 1 (**Figura 6A**) e 2 (**Figura 6B**). Para

chegar a esse resultado foi dividida a espessura da camada ( $E_i$ ) pela sua resistividade aparente ( $\rho_i$ ), dada pela equação:

$$S_i = E_i / \rho_i \quad (3)$$

Os resultados estão expostos na (**Tabela 01**), por meio destes foi inferido que o fluxo hídrico subsuperficial se dá no sentido N-S, ou seja, da Lagoa da Confusão para o rio Urubu, pelo fato da SEV 2 ter apresentado maior condutância.

Tabela 01: Valores da condutância longitudinal para cada camada das SEV's 1 e 2.

	Resistividade	Espessura	$S_i$
<b>SEV1</b>			
1ª camada	3132	15,79	0,005042
2ª camada	151,2	26,81	0,177315
<b>SEV2</b>			
1ª camada	3134	9,599	0,003063
2ª camada	59,01	27,16	0,460261

Organização: Gilney Cardoso Pereira, 2012.

Xavier (2004) ressalta a importância do conhecimento da geologia local antes da interpretação e tratamento dos dados para serem feitas as correlações das estratigrafias com suas respectivas resistividades ou condutividade. Apesar da falta de dados de sondagem geológica, para uma melhor correlação da estratigrafia com os dados geofísicos, pelas observações feitas na área em trabalhos de campo, pode-se inferir que a primeira camada de todas as SEV's se refere aos sedimentos Quaternários não-saturados (1424 a 7023  $\Omega.m$ ); a segunda camada refere-se aos mesmos sedimentos, porém saturados (122 a 699  $\Omega.m$ ), apresentando baixa resistividade. Já a terceira camada, apresenta valores de resistividade condizentes com aqueles apontados por Fachim (2007) para dolomitos e calcários, podendo ser atribuída à Formação Couto Magalhães que possui tais rochas em sua composição litológica.

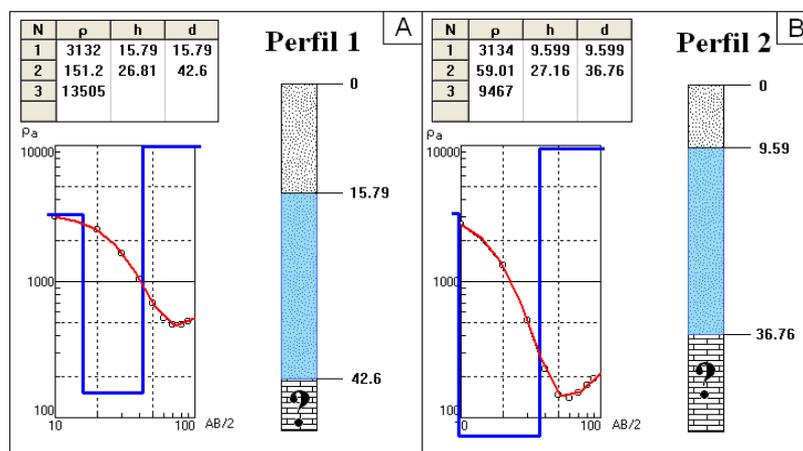


Figura 6 – Curvas das resistividades e perfis das SEV's 1 e 2.

Durante o mapeamento da gruta Casa de Pedra, Pontalti (2010) verificou uma grande fratura condicionando um dos principais condutos daquela cavidade. Tendo em vista que o intemperismo em áreas cársticas ocorre preferencialmente nesses pontos de fraqueza da rocha (fraturas, juntas e falhas), por meio da dissolução do calcário pela água alterada quimicamente através do contato com a matéria orgânica do solo (KOHLER, 2008), pode-se inferir com o auxílio da figura 7, que representa os perfis das SEV's 3, 1 e 5, alinhadas no sentido W-E, que no espessamento do manto de intemperismo, e consequentemente, o rebaixamento do embasamento carbonático na parte central da área (**Figura 7**), se deu condicionado por uma estrutura geológica (falha?), com direção coincidente com o alinhamento dos afloramentos de calcário (**Figura 3**).

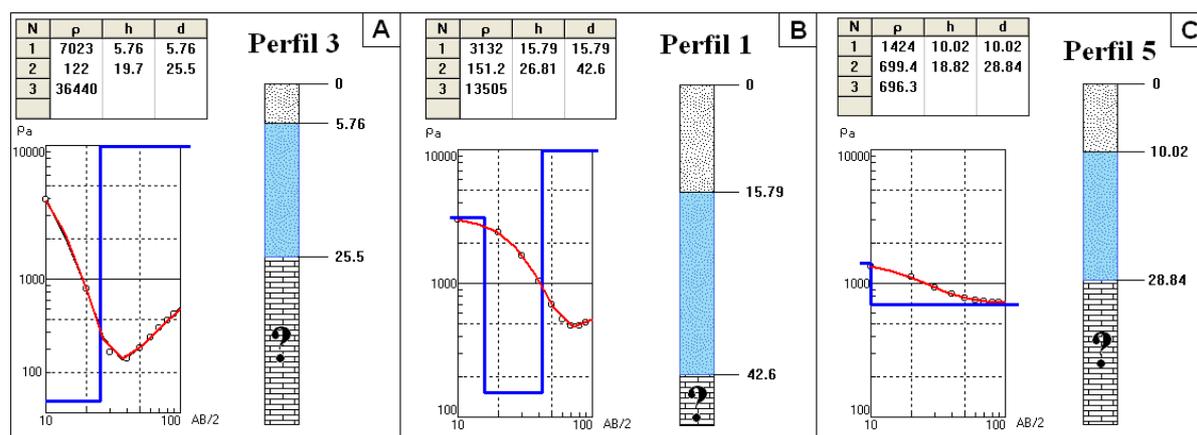


Figura 7 – Curvas das resistividades e perfis das SEV's 3(A), 1(B) e 5(C).

## CONCLUSÕES

A partir dos trabalhos de campo e laboratório, pode-se concluir que:

- As técnicas de eletroresistividade apresentaram resultados satisfatórios na determinação da profundidade do contato dos sedimentos Quaternários com embasamento calcário do entorno da Lagoa da Confusão;
- foi possível inferir que a evolução do sistema cárstico da área está condicionada por uma falha geológica;
- os resultados alcançados com a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizados como base para definição de pontos para a realização dos ensaios geofísicos, poupando tempo e custos;
- existe uma necessidade de realização de mais ensaios geofísicos e coleta de dados estratigráficos (através de poços) para um melhor entendimento da evolução geomorfológica da área em questão.

## REFERÊNCIAS

- AULER, A. S. **Expedição a Tocantins cadastra novas cavernas**. Conexão Subterrânea, 1: p.2, 2003.
- BRAGA, A., **Métodos Geométricos Aplicados no Estudo de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas**. UNESP, 2007. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS>
- FACHIN, S. J. S. **Ensaio geométrico 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto – SP: avaliação de**

**parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema.** Tese de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, São Paulo, SP. 2007. 142 p.

GORAYEB, Paulo Sérgio de Sousa. **Geologia do Estado do Tocantins: Aspectos Gerais e Conhecimento Atual.** In: MORAIS, Fernando de (organizador). **Contribuições a Geografia Física do Estado do Tocantins.** Goiânia: Kelps, 2011.

JUNIOR, Abílio de Carvalho. et. al. **Ambientes Cársticos** In: FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

KLIMCHOUCK, B. A.; FORD, D. C. Types of Karst and Evolution of Hydrogeologic Settings. In: KLIMCHOUCK, B. A. et al (editors). **Speleogenesis- Evolution of Karst Aquifers (USA).** National Speleological Society, p.45-53, 2000.

KOLHER, Heinz Charles. **Geomorfologia Cársticas** In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da.(Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda. 2008.

MALAGUTTI FILHO, W. ; COTTAS, L. R.. **Aplicação de Métodos Geofísicos na Geologia de Planejamento Urbano - Abordagem Metodológica.** Geociências, São Paulo, v. 12, n. 02, p. 417-438, 1993.

PONTALTI, A. L. **Evolução Espeleogenética Sobre da Gruta Casa de Pedra, Lagoa da Confusão - TO.** Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2010. 75p.

SEPLAN: **Secretaria de Planejamento e meio Ambiente, Diretoria de Zoneamento Ecológico – Econômico – DEZ.** ATLAS DO TOCANTINS: subsídios ao planejamento da gestão territorial. 5ª ed. Palmas: SEPLAN, 2008.

VERESS, M. **Investigation of covered karst form development using geophysical measurements.** *Z. Geomorphologie N. F.*, v. 53, n.7, Berlin, p. 467-486, 2009.

XAVIER, F. F. **Aplicação da sondagem geofísica – método eletrorresistividade – na locação de poços profundos.** Revista Águas Subterrâneas – Suplemento XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, p. 1-9, 2004.