

# INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS, GEOFÍSICOS E DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA A LOCAÇÃO DE POÇOS TUBULARES EM AQUÍFEROS FRATURADOS

Enéas Oliveira LOUSADA <sup>1</sup> & José Elói Guimarães CAMPOS <sup>2</sup>

(1) Doutorando, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP 70910-970. Brasília, DF. Endereço eletrônico: eneas@unb.br. (2) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro. CEP 70910-970. Brasília, DF. Endereço eletrônico: eloi@unb.br.

Introdução

Método

Análise de Lineamentos em Produtos de Sensoriamento Remoto

Interpretação Fotogeológica

Interpretação de Imagens Orbitais

Estudos Geológicos / Estruturais

Prospecção Geofísica

Integração dos Dados

Validação da Metodologia

Conclusões

Referências Bibliográficas

**RESUMO** – O tema desta pesquisa é a integração de dados de sensoriamento remoto, de litologia, de geologia estrutural e de geofísica para a locação de poços tubulares em aquíferos fraturados. No método proposto foram desenvolvidos inicialmente estudos baseados em produtos de sensoriamento remoto para identificação de feições estruturais com probabilidade de armazenamento de água subterrânea. Foram utilizadas fotografias aéreas para estudos de detalhe e imagens de alta resolução do LANDSAT-TM para estudos regionais. Durante o mapeamento geológico adquiriu-se medidas de feições estruturais. Aplicou-se o método geofísico eletromagnético em áreas previamente selecionadas e os dados foram apresentados em mapas de isocondutividade. Após a aquisição dos dados iniciou-se a fase de integração e a locação dos poços foi realizada após análise integrada dos resultados. Para testar o método realizou-se um estudo de caso no assentamento rural Sítio Novo, no Distrito Federal. A geologia da região envolve unidades do Grupo Paranoá. Os poços localizados interceptaram as unidades Metarritmito Argilosos e Psamo-Pelito-Carbonatada, as quais estão inseridas no domínio fraturado do Sistema Paranoá. A média de vazões dos poços perfurados com o auxílio do método proposto foi de 10.500 l/h, que é superior a média regional para o mesmo domínio aquífero. Na avaliação da pesquisa concluiu-se que a metodologia é válida, com restrições para áreas com presença de corpos interferentes que possam causar ruídos durante a aquisição dos dados geofísicos.

**Palavras-chave:** Água subterrânea, aquífero fraturado, locação de poços.

**ABSTRACT** – *E.O. Lousada & J.E.G. Campos – Geological, geophysical and remote sensing data integration to the location of deep wells in fractured aquifers.* The integration of remote sensing, geological/structural and geophysical data to locate deep well in fractured domains for water exploitation is the target of this study. The remote sensing imagery, black & white aerial photographs and orbital images with high resolution from LANDSAT-TM, is analyzed to identify structural features with probability of groundwater storage, in a regional scale. Geological and structural data are collected by field survey. The electromagnetic geophysical method is applied in areas previously selected, and the data are plotted on isoconductivity maps. The integration of the results allows selecting locations for well drilling. To test the method an application was accomplished in the rural sitting Sítio Novo (Distrito Federal). The area is constituted of units of the Paranoá Group. The deep well located intercepted the clayey meta-rhythmic and psamitic-pelitic-carbonated units, in fractured domain of the Paranoá System. The production average was 10.500 l/h, higher than the regional average to the same aquifer domain. The method is evaluated as efficient, with restriction for areas where bodies that may influence in the geophysical investigation are present.

**Keywords:** Groundwater, fractured aquifer, well location.

## INTRODUÇÃO

A ocorrência de água subterrânea em meio fraturado está restrita a espaços originados por esforços tectônicos gerando fraturas, fissuras, juntas e falhas, o que dificulta a captação. A ausência de conhecimento sobre a estruturação e condições hidrodinâmicas desse sistema acarreta alto índice de insucesso exploratório, resultando em poços tubulares de baixas vazões e até secos.

Para o desenvolvimento econômico de áreas destinadas a agricultura e pecuária, o fornecimento de água surge como fator preponderante. A área da pesquisa é destinada principalmente ao cultivo de hortaliças, para a qual foi projetado abastecimento de água por meio de poços tubulares profundos.

O objetivo desta pesquisa é elaborar um método sistemático na localização de áreas favoráveis à

prospecção de água subterrânea em domínio fraturado recoberto por espessos regolitos que mascaram as estruturas planares. A metodologia proposta considera a integração de dados adquiridos de imagens de sensoriamento remoto, geologia de campo (litologia e estrutura), geofísica de superfície e hidrogeologia.

Utilizou-se o método geofísico eletromagnético EM-

34 que investiga profundidades máximas da ordem de 60 m, o que é inferior à média de perfuração de poços na região do Distrito Federal. Entretanto, a avaliação do comportamento das variações das espessuras dos solos, associadas ao conhecimento das atitudes médias das estruturas planares, permitem a aplicação do método eletromagnético adotado para a pesquisa.

## MÉTODO

A sistemática de pesquisa sugerida parte de estudos preliminares realizados em escritório, incluindo interpretação fotogeológica e tratamento de imagens digitais. Na seqüência, desenvolveram-se os trabalhos de mapeamento geológico/estrutural e levantamento geofísico. Na fase final, o tratamento e integração dos dados obtidos fornecem subsídios que possibilitam a locação mais adequada de poços tubulares profundos para exploração de água subterrânea em meio fissurado (Figura 1).

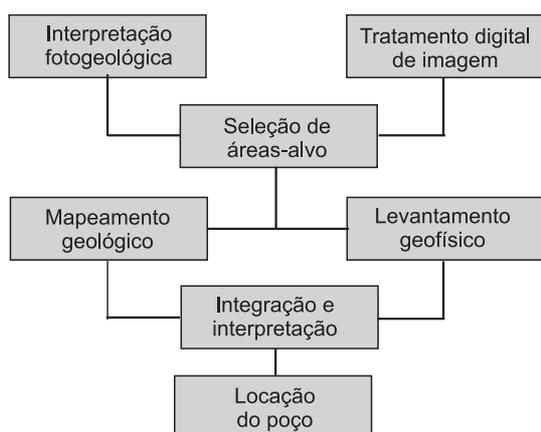


FIGURA 1. Fluxograma da metodologia proposta.

## ANÁLISE DE LINEAMENTOS EM PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

### Interpretação Fotogeológica

Preferencialmente, a interpretação de fotografias aéreas deve ser realizada em escala maior que 1:30.000, onde devem ser extraídas feições geológicas, traços de foliação, falhas e fraturas, elementos de drenagem e relevo, além do sistema viário e de infra-estrutura (incluindo localização de linhas de alta tensão). O comportamento dos elementos planares é o principal indicador da presença de água subterrânea em aquíferos fraturados.

A utilização das fotografias aéreas, em escala de semidetalhe, permite a identificação e caracterização

de várias feições tectono-estruturais associadas a esforços compressivos e distensivos, que favoreceram a determinação de um modelo preliminar do padrão de fraturamento da área-alvo. As feições associadas a movimentos distensivos foram tratadas com maior atenção por resultarem em elementos estruturais abertos, os quais são importantes na prospecção de água subterrânea.

Partindo da interpretação desses resultados, é elaborado um zoneamento prévio de áreas onde as demais fases do estudo devem ser detalhadas, o que facilita a compreensão dos fenômenos e integração final dos dados.

### Interpretação de Imagens Orbitais

A interpretação de imagens de satélites vem complementar os dados adquiridos a partir da fotointerpretação. De modo geral, as fotos aéreas possuem melhor resolução espacial facilitando a identificação das estruturas e, dessa forma, as imagens de satélites representam um apoio dentro da sistemática sugerida.

São várias as técnicas de tratamento disponíveis para extrair das imagens orbitais feições adequadas ao objetivo do trabalho. Nessa proposta, o tratamento é realizado recorrendo-se às técnicas de realce através de filtragens direcionadas, que possuem como princípio básico a relação entre variações de brilho *pixel a pixel* em direções preferenciais (Novo, 1989). Dessa forma, a filtragem espacial representa uma técnica para realçar ou suprimir os limites das repetições do padrão de brilho, salientando feições lineares como fraturas, falhas e lineamentos geológicos imperceptíveis em fotos aéreas.

Pode-se utilizar imagens orbitais adquiridas de vários sensores como o Landsat-TM, IKONOS, QuickBird e outros. O presente estudo utilizou imagem do sistema sensor LANDSAT-TM (*Thematic Mapper*) com resolução espacial de 30 x 30 m, adquirida no ano de 1998. O canal selecionado foi a banda 5, a qual realça as formas de relevo e possui aplicações geológicas.

Utilizou-se o suporte computacional ENVI 3.1 (*Environment for Visualizing Images*) da Research Systems, onde foram aplicados filtros digitais segundo

as direções N45E e N45W. A finalidade desse processamento é uma melhor definição quanto a densidade de fraturas, bem como suas direções preferenciais, parâmetros importantes para determinação de áreas propícias à ocorrência de água subterrânea.

### **ESTUDOS GEOLÓGICOS / ESTRUTURAIS**

Após a conclusão dos estudos de análise de lineamentos determina-se, em termos regionais, a tendência do comportamento estrutural da área. Com base nesses dados, passa-se a uma fase de maior detalhe, em que se adquire medidas de fraturas, falhas e sistema de juntas, para correlação com os dados regionais e também para compor um modelo hidrogeológico esquemático para a área específica. Essas estruturas são de suma importância por estarem diretamente relacionadas ao comportamento da água subterrânea, uma vez que controla os aquíferos do domínio fraturado.

Além do detalhamento tectono-estrutural, realiza-se um mapeamento geológico direcionado aos aspectos que apresentam interesse para água subterrânea, tentando correlacionar as ocorrências litológicas à susceptibilidade de desenvolver características favoráveis a concentração de água em subsuperfície. Nesse âmbito, pesquisa-se também as condições hidrodinâmicas do domínio poroso (solos e saprolitos), que atua como controlador da recarga para o domínio fraturado.

Os dados obtidos são analisados estatisticamente para se definir os principais sistemas de fraturas responsáveis pelo armazenamento e circulação da água subterrânea, bem como as rochas mais favoráveis aos reservatórios de água. O controle litológico deve ser analisado em função do comportamento reológico de cada tipo petrográfico, com atenção para a possibilidade de manutenção da abertura das estruturas em maiores profundidades.

### **PROSPECÇÃO GEOFÍSICA**

A aplicação do método geofísico é feita sobre as áreas previamente selecionadas nas fases anteriores e deve privilegiar as regiões de maior interesse para prospecção de água subterrânea. Vários métodos geofísicos podem ser aplicados. Entretanto, a relação custo-benefício mostra que os métodos elétricos são os mais adequados para os estudos de prospecção de água subterrânea.

A presente pesquisa emprega perfis de sondagens eletromagnéticas utilizando um método que opera com corrente alternada, o qual investiga profundidades de até 60 m em função da distância entre bobinas. Tal método permite o reconhecimento do topo da zona fraturada, proporcionando assim, parâmetros adequados para identificação de zonas propícias à captação de água subterrânea.

Trata-se, assim, de um método de geofísica rasa que pretende obter informações para a locação de poços tubulares de profundidades até 150 m. Essa proposta é viável, uma vez que, ao longo do topo das zonas fraturadas, o regolito (solos + saprolitos) alcança as máximas espessuras e, em condições adequadas, pode-se obter o mergulho das estruturas, pois o método permite aquisição de informações a diferentes profundidades. O deslocamento da anomalia permite interpretar o quadrante do mergulho das estruturas principais.

Os dados são adquiridos em áreas-alvo dentro dos limites estabelecidos para desenvolvimento da pesquisa. Os caminhamentos são realizados com base no tratamento aerofotográfico prévio, os quais foram posicionados perpendicularmente aos principais lineamentos que representam regiões propícias a ocorrência de água subterrânea. Para o objetivo proposto os dados foram obtidos com estações a cada 40 m.

No total, foram adquiridos dados em quatro áreas, totalizando cerca de 80 pontos de amostragem utilizando-se o equipamento EM 34-3XL da Geonics Ltd.

A profundidade de investigação pode ser considerada, sem um erro apreciável, como dependente do espaçamento e da orientação das bobinas. No modo dipolo horizontal (DH), isto é, com o plano da bobina na vertical, a profundidade de investigação é de cerca de três quartos da distância entre as bobinas. No modo dipolo vertical (DV), isto é, com o plano da bobina na horizontal, a profundidade de investigação é de cerca de 1,5 vezes o espaçamento das bobinas. O EM 34-3XL permite três espaçamentos entre as bobinas, 10, 20 e 40 m. Assim, é possível investigar profundidades de aproximadamente 7,5, 15 e 30 m no modo DH e 15, 30 e 60 m no modo DV.

O modo dipolo vertical atinge duas vezes a profundidade de exploração do modo DH e é mais sensível às variações laterais de condutividade (Goldstein et al., 1990). No entanto, é altamente susceptível ao desalinhamento das bobinas (McNeill, 1980). No modo dipolo horizontal, materiais acima da profundidade efetiva alcançada pelo instrumento, contribuem em cerca de 70% da resposta (Stewart & Bretnall, 1986).

O método permite realizar sondagens, caminhamento e perfis eletromagnéticos, com procedimentos semelhantes ao método elétrico de corrente contínua (Mendes, 1987). A distância entre as linhas fica condicionada pelo espaço físico disponível e pelo nível de detalhe desejado. Os dados são apresentados em mapas, traçando-se curvas de isocondutividade para as quatro profundidades de investigação.

A condutividade elétrica é diretamente proporcional ao conteúdo de água no subsolo; assim, o contraste obtido associado a valores altos e baixos de condutividade possibilita a identificação de áreas com

presença de água, que serão os locais mais propícios à exploração através de poços tubulares profundos.

A rapidez do método permite o aumento da densidade de medidas, possibilitando a delimitação mais precisa dos contornos das estruturas condutivas em profundidade. Como o equipamento permite investigar diferentes profundidades, pode-se gerar mapas da variação lateral de condutividade elétrica para os modos DH e DV.

## INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Após um estudo prévio realizado através de fotografias aéreas e imagens de satélites, as áreas-alvo para aplicação do método geofísico foram selecionadas. De modo geral, essas áreas abrangem prolongamentos de fraturas ou zonas fraturadas. O principal objetivo do método é indicar feições em subsuperfície que possam estar relacionadas a circulação de água, identificando não apenas a direção do fraturamento como também o sentido do mergulho da estrutura, fator relevante na locação de poços tubulares nestes domínios.

A análise de fotografias aéreas em escala de 1:30.000 (semidetalhe) permitiu a identificação e interpretação de feições lineares presentes no terreno. O conjunto destas feições, associado à sua densidade e comportamento espacial, compõe o arcabouço estrutural da área, parâmetro importante para pesquisa de água subterrânea em domínios fissurados. A identificação das fraturas é realizada baseada nos elementos de drenagem e quebras de relevo, que se comportam de forma sistemática refletindo as condições geológicas e estruturais em subsuperfície.

As imagens orbitais provenientes do sistema sensor LANDSAT-TM possuem resolução espacial de 30 x 30 m, que é perfeitamente adequada para um estudo regional. No método desenvolvido optou-se por utilizar a banda 5, que fornece informações relacionadas às formas de relevo, parâmetro indicador de falhas e fraturas. Salienta-se que em muitos casos os traços de fraturas a serem investigados podem possuir comportamentos diferenciados ainda que possuam características geológicas e geomorfológicas semelhantes. As filtragens direcionadas exercem transformações *pixel* a *pixel* nas imagens em direções preferenciais. Nessa pesquisa adotou-se as direções N45E e N45W para se realçar as direções preferenciais de fraturamento compatíveis com os dados obtidos na região, objetivando assim a visualização dos sistemas de fraturas não perceptíveis na imagem original (banda 5). Através desse processamento obtêm-se melhores definições quanto a densidade e direções preferenciais de fraturas, que são parâmetros fundamentais para a sistemática

Existem fatores que podem interferir na aquisição dos valores de condutividade. Pode-se afirmar que a presença de corpos metálicos influi sobremaneira na obtenção de resultados com qualidade satisfatória. Especificamente, atenta-se para interferências relacionadas à presença de cercas de arame, redes de energia, máquinas agrícolas (tratores, arados), aeronaves, dentre outras.

adotada. Os filtros aplicados foram de tamanho 3 x 3 com ângulos de 45° (N45E) e -45° (N45W).

Concluído o tratamento prévio com base em produtos de sensoriamento remoto, determinaram-se as subáreas nas quais seriam realizados os estudos geofísicos, os quais foram correlacionados com os dados geológicos/estruturais e hidrogeológicos de âmbito regional e local. Nesse contexto deve-se salientar que a disposição de fraturas bem demarcadas ortogonalmente umas às outras, compondo pares conjugados com estruturas menos expressivas, são características extremamente relevantes na determinação de áreas propícias à ocorrência de água subterrânea.

A locação dos poços e conseqüentemente sua construção estão condicionadas a fatores relativos ao objetivo do projeto e características fisiográficas da área em questão. A sistemática proposta adota linhas geofísicas com dimensões reduzidas perpendiculares à direção da estrutura a ser investigada. Este esquema tem por objetivo a verificação do comportamento do sistema de fraturas em subsuperfície, as quais em alguns casos apresentam-se mascaradas por manto de intemperismo.

A integração entre os produtos de sensoriamento remoto e a prospecção geofísica fornece o diagnóstico estrutural de subsuperfície na área pesquisada, corroborando os dados geológicos/estruturais regionais. Como parte do tratamento dos dados geofísicos obtidos a partir do levantamento eletromagnético inclui-se a plotagem das linhas realizadas no mapa e conseqüente a elaboração de mapas de isolinhas para as profundidades de 30 m (DH) e 60 m (DV), para se estabelecer os pontos com maiores valores de condutividade, bem como o comportamento dessa variável em subsuperfície (mergulho da fratura). O objetivo desse procedimento é obter a melhor posição para a locação dos poços.

A locação do poço deve considerar a orientação planar e o mergulho da fratura objetivada, parâmetro importante na locação de poços em domínios fissurados. No método proposto orienta-se inicialmente posicionar em campo a zona com maior condutividade elétrica, determinada pelo levantamento geofísico. Na seqüên-

cia, é estabelecido um afastamento de 5 a 10 m no sentido do mergulho da fratura. A realização desse procedimento é necessária para que a perfuração intercepte fraturas saturadas, que no caso de domínio

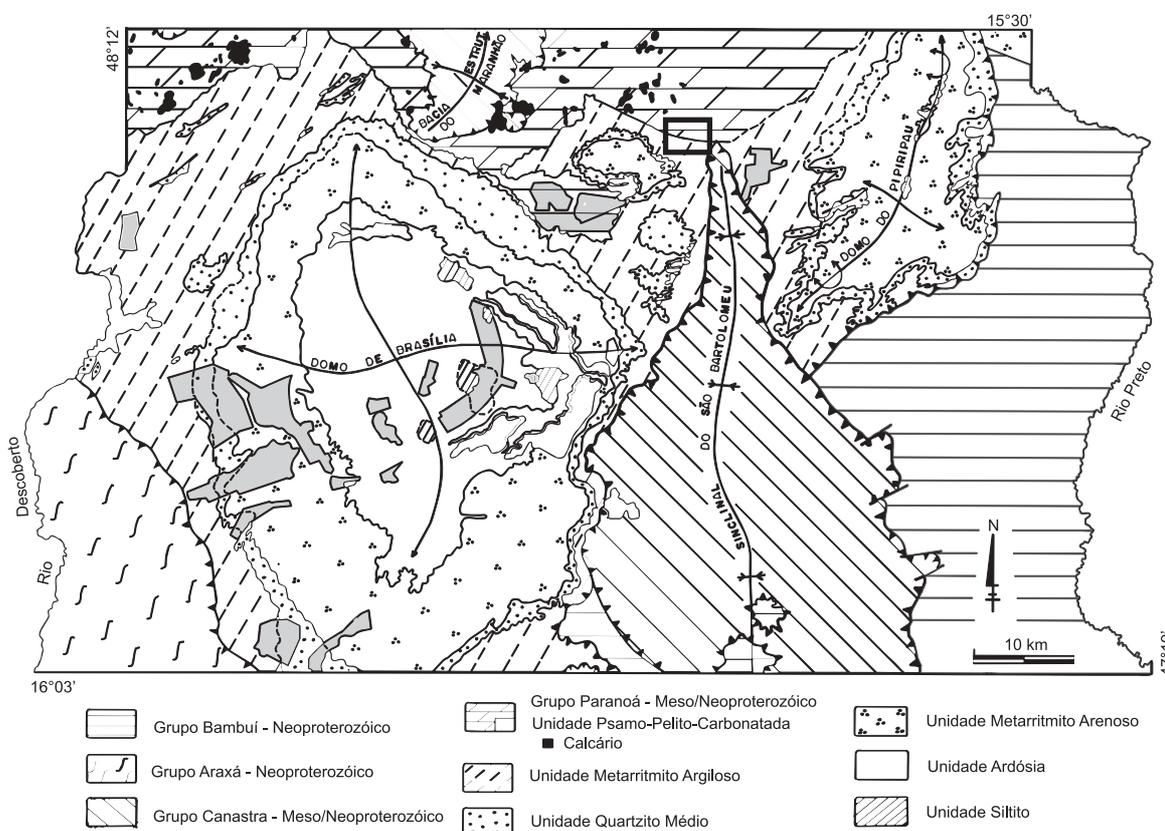
fissurado ocorrem em profundidades mais elevadas. A produtividade do poço estará diretamente relacionada com a quantidade de fraturas saturadas existentes na seção perfurada.

## VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

A área selecionada para aplicação desse método faz parte do Projeto Gota D'água, desenvolvido pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal (EMATER/DF), que objetiva o assentamento de trabalhadores rurais no campo. Nesse contexto, o abastecimento de água surge como fator restritivo à viabilidade do projeto, já que as áreas não são abastecidas pela Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (CAESB). Outro fator impor-

tante para a escolha da área foi a possibilidade da perfuração dos poços após a aplicação do método, servindo assim para testar a eficácia da pesquisa proposta.

O projeto incluiu a perfuração de quatro poços tubulares profundos no assentamento denominado Sítio Novo, no Distrito Federal. A localização da área de pesquisa e o contexto geológico da região estão representados na Figura 2.

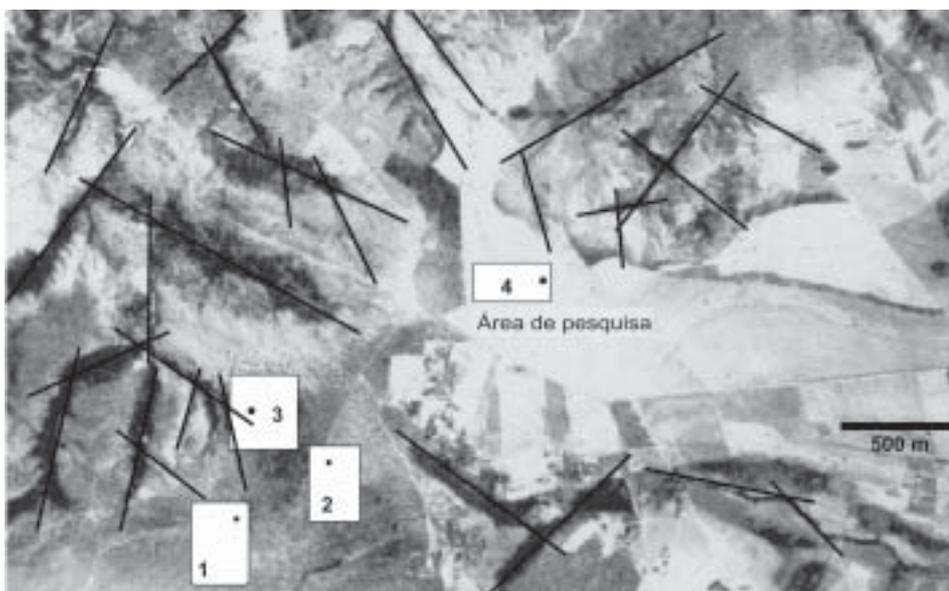


**FIGURA 2.** Localização da área pesquisada e contexto geológico regional (compilado de Campos, 2004).

Na área ocorrem as unidades metarritmitos argilosos e psamo-pelito-carbonatos do Grupo Paranoá (Campos & Freitas Silva, 1998; Campos, 2004). Os poços locados interceptaram essas unidades, as quais compõem domínios aquíferos fraturados do Sistema Paranoá.

Identificaram-se zonas de alta densidade aparente de fraturas, associadas à porções mais elevadas do relevo, onde os processos intempéricos foram menos atuantes. Zonas com baixa densidade aparente de

fraturas estão presentes, associadas às porções mais baixas, caracterizadas por relevo plano a suave ondulado, onde a decomposição do material subjacente foi mais intensa e mascara as feições estruturais. Observam-se ainda zonas de fraturamento demarcadas pelo desenvolvimento preferencial de linhas de drenagem retilíneas, elementos de drenagem fortemente estruturados, retilíneos ou em arco, como mostra a Figura 3 (Lousada, 1999).



**FIGURA 3.** Fotografia aérea da área de pesquisa, com demarcação das áreas onde foi realizado o levantamento geofísico, interpretação dos lineamentos (traço grosso) e localização dos poços tubulares profundos (pontos pretos).

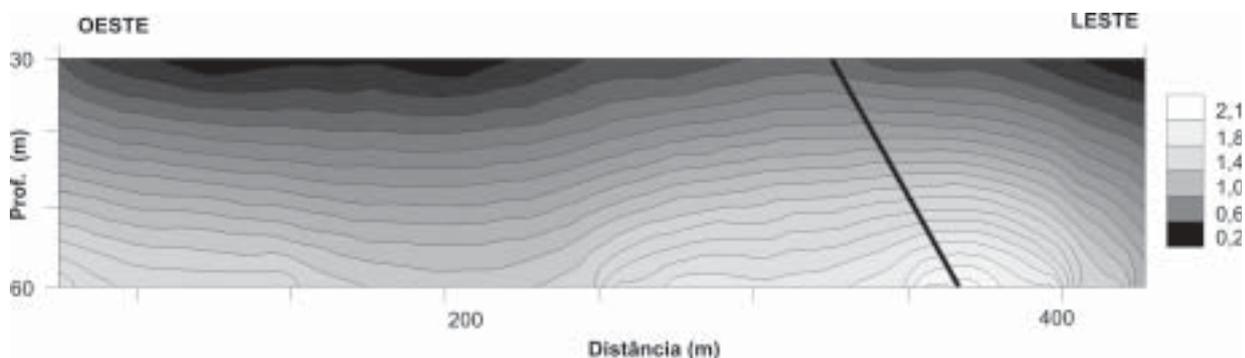
O resultado da análise de lineamentos sobre a fotografia aérea é coerente com as direções regionais, sendo que as direções próximas a N-S, NE e NW apresentam a maior frequência de observação e as direções E-W ocorrem em menor concentração (Figura 3).

A área pesquisada está associada a um relevo suave ondulado, onde se verifica uma leve depressão que se torna cada vez mais acentuada na direção NW. Essa depressão representa um traço de fratura com direção aproximada N20W (Figura 3). Nesse caso, as linhas geofísicas foram dispostas segundo direção E-W para se obter respostas quanto ao sentido do mergulho dessa estrutura (Figura 3). Deve-se salientar que o relevo suave ondulado referente a toda porção adjacente à subárea, resulta em condição satisfatória para recarga dos aquíferos, o que torna favorável a locação do poço. Os resultados foram extremamente satisfatórios, considerando-se que as respostas de condutividade obtidas para as diferentes profundidades

detectadas para 30 60 m determinaram com precisão o sentido do mergulho da estrutura.

A seguir são apresentados os resultados do levantamento geofísico para a área 4. Para o modo Dipolo Horizontal, os maiores valores obtidos variam entre 0,2 e 1,18  $\mu\text{S}/\text{m}$ , porém os mais elevados estão distribuídos na porção leste da área, numa zona que se prolonga em direção NW-SE. Os valores detectados para o modo Dipolo Vertical variam entre 1,4 e 2,1  $\mu\text{S}/\text{m}$ , e nesse caso as respostas de condutividade mais significativas estão situadas na porção oeste da área. O perfil transversal elaborado mostra uma feição linear com direção NW-SE mergulhando para SW (Figura 4).

A vazão do poço perfurado nesse local foi de 15.000 L/h. A média das vazões obtidas para os 4 poços locados por esse método foi de 10.500 L/hora, que é aproximadamente 50% superior a média regional para o mesmo aquífero (de 6.500 L/h; Campos, 2004).



**FIGURA 4.** Seção transversal oeste-leste (situada na porção central da área 4), mostrando a variação das condutividades hidráulicas em profundidade. O traço preto situado na porção oeste da seção indica a interpretação do plano da fratura.

## CONCLUSÕES

Com base na aquisição e integração de dados provenientes de interpretação de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas em escala de 1:30.000 e imagens LANDSAT-TM banda 5), mapeamento geológico/estrutural e levantamento geofísico, conclui-se que a metodologia proposta apresenta ganho considerável na locação de poços tubulares em aquíferos fraturados o que aumenta a chance de sucesso na exploração desses mananciais.

A interpretação de fotografias aéreas forneceu parâmetros extremamente relevantes na identificação de feições estruturais passíveis de armazenamento de água subterrânea. A escala das fotografias (1:30.000 na pesquisa desenvolvida), bem como sua elevada resolução espacial, fornecem subsídios para se realizar levantamentos em detalhe. Essa ferramenta tem sido bastante utilizada em vários níveis de pesquisa, sempre fornecendo excelentes resultados, salientando-se que é um método que não necessita de grande suporte técnico e não requer elevados níveis de processamento de dados para se obter as informações, podendo ser facilmente desenvolvido por profissionais da área.

As técnicas aplicadas para tratamento das imagens digitais atuaram como auxílio na localização de estruturas propícias a circulação de água. As filtros, ainda que se utilizando filtros de menor tamanho, imprimem na imagem uma menor resolução espacial, parâmetro limitante para a metodologia sugerida. Esse processamento deve ser criterioso, pois de modo geral tende a dificultar a diferenciação entre várias estruturas que compõem a imagem, principalmente em áreas urbanas, estradas, desmatamentos e outras feições de natureza antrópica. Esse processamento se torna importante para pesquisas em nível regional, pois as imagens fornecem uma visão sinótica da área, parâmetro imprescindível nesse tipo de levantamento. Para pesquisas locais a utilização de imagens orbitais deve ser complementar aos estudos de fotointerpretação.

O método eletromagnético EM-34 forneceu bons resultados na detecção de feições estruturais em

subsuperfície com capacidade de armazenamento d'água, uma vez que os valores mais elevados de condutividade eletromagnética encontram-se, em sua maioria, relacionados à presença de água associada à zonas de depressão (vales de riachos e córregos), as quais caracterizam feições estruturais. O método geofísico escolhido tem vantagens, como a possibilidade de investigação em mais de uma profundidade, podendo ser elaborados perfis transversais do comportamento da condutividade elétrica. O equipamento possui fonte emissora de corrente elétrica própria e é portátil, tornando o levantamento operacional, sendo necessárias apenas duas pessoas para execução da pesquisa. O método apresenta limitações relacionadas a interferências externas como presença de materiais metálicos, cercas, redes de alta tensão, ruídos de equipamentos agrícolas, aeronaves, dentre outros. Em locais com nível elevado de ruídos, como em áreas urbanas, o método em apreço não deve ser utilizado. Em situações com impossibilidade da aplicação do método eletromagnético pode-se implementar a eletrorresistividade (SEV ou caminhamento elétrico) que trabalha com corrente contínua.

O melhor posicionamento dos poços tubulares profundos foi obtido com base na integração de todos os dados adquiridos nas fases iniciais da pesquisa (interpretação de produtos de sensoriamento remoto, mapeamento geológico/estrutural e levantamento geofísico). De modo geral, conclui-se que uma análise detalhada de fotografias aéreas, associada ao levantamento geofísico, compõem a base metodológica aplicada para incrementar as chances de sucesso na exploração de sistemas aquíferos desenvolvidos em rochas cristalinas. As fotografias aéreas, em função de sua alta resolução espacial, fornecem parâmetros para uma melhor identificação de feições estruturais, e o levantamento geofísico, para se identificar o comportamento dessas feições em subsuperfície, parâmetro extremamente relevante na locação de poços em domínios fraturados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMPOS, J.E.G. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 41-48, 2004.
2. CAMPOS, J.E.G & FREITAS-SILVA, F.H. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Instituto Estadual de Meio Ambiente/Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia/Universidade de Brasília (IEMA/SEMATEC/UnB). **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**, Brasília, Parte IV, 1998, 85 p.
3. GOLDSTEIN, N.E; BENSON, S.M.; ALUMBAUCH, D. Saline groundwater plume mapping with eletromagnetics. In: WARD S.H. (Ed). **Geotechnical and Environment Geophysics, Environment and Groundwater**, v. II, 1990, p. 16-25.
4. LOUSADA, E.O. **Estudos geológicos e geofísicos aplicados a locação de poços tubulares profundos em aquíferos fraturados na região do Distrito Federal**. Brasília, 1999. Dissertação (de Mestrado) – Universidade de Brasília.
5. MCNEILL, J.D. **Eletromagnetic terrain conductivity**

- measurement at low induction members.** Missisauga, Ontario: Geonics Inc., TN-6, 1980, 15 p.
6. MENDES, J.M.B. **Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição de águas subterrâneas.** São Paulo, 1987. Tese (de Doutorado) – Universidade de São Paulo.
  7. NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1989, 308 p.
  8. STEWART, M. & BRETNALL, R.E. Interpretation of VLF resistivity data for groundwater contamination studies. **Ground Water Monitoring Review**, v. 6, n. 1, p. 71-75, 1986.