

XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

GEOFÍSICA INTEGRADA A SENSORIAMENTO REMOTO NA CARACTERIZAÇÃO DE UM AQUÍFERO EM CAÇAPAVA DO SUL, RS

Marieli Machado Zago¹; Maximilian Fries²; Ladislau Aparecido da Costa Arruda Junior³; Lenon Melo Ilha⁴;

Resumo – A escassez de água doce potável é uma problemática que a população mundial enfrenta, esse recurso é fundamental para o bem estar dos seres vivos e manutenção dos ecossistemas. O consumo de água potável aumenta ano a ano devido aos impactos ambientais causados pela superpopulação, atividades industriais e pelo mau uso dos recursos hídricos. Foi empregado o método geofísico eletromagnético integrado a dados de lineamentos e estruturas na região com o objetivo de identificar e caracterizar descontinuidades acumuladoras potenciais de água, em um aquífero fissurado no município de Caçapava do Sul, Estado do Rio Grande do Sul. O uso da geofísica como método indireto auxiliar na prospecção de água subterrânea oferece uma alternativa quanto aos métodos tradicionais de mapeamento de superfície, muitas vezes limitados em decorrência da ausência de afloramentos ou camadas espessas de solo mascarando as fraturas e juntas. Esta proposta apresentou-se, para este estudo, ser uma metodologia de baixo custo e com resultados satisfatórios. Detectou-se a presença de altos anômalos de condutividade que possibilitaram a localização de diferentes níveis de saturação de água acumulada em fraturas ao longo dos perfis investigados. Fornece subsídios em estudos futuros de detalhamento e caracterização do aquífero e presença de áreas de recarga.

Palavras-Chave – Geofísica, Aquífero, Estruturas.

Abstract – The shortage of clean fresh water is a problem that the world population faces, this feature is critical to the welfare of all living beings and maintenance of the ecosystems. The drinking water consumption increases every year due to environmental impacts caused by overpopulation, agricultural and industrial activities and the misuse of water resources. The study area is inserted in the Caçapava do Sul Granitic Suite, where we integrated electromagnetic geophysical method to lineament data and structures in the region in order to identify and

¹ Unipampa, Rua Félix da Cunha, 544, Caçapava do Sul, RS, 55 99154805, marielizago@gmail.com.

² Unipampa, Rua Coronel Romão, 755, Caçapava do Sul, RS, 55 91814330, maximilianfries@unipampa.edu.br.

³ Unipampa, Rua General Osório, 781, Caçapava do Sul, RS, 55 96002843; ladisarrudajr@gmail.com

⁴ Unipampa, Rua Dom Pedro II, 791, Caçapava do Sul, RS, 55 99483921, lenonilha@unipampa.edu.br.

characterize discontinuities potential accumulators of water, in a fissured aquifer in the Caçapava do Sul city, Rio Grande do Sul State. The use of geophysics as an indirect method assist in groundwater exploration offers an alternative as traditional methods surface mapping, often limited due to the absence outcrops or thick soil layers masking fractures and joints. This proposal presented in this study, offered a quick methodology with low cost and satisfactory results. The presence of anomalous high conductivity was detected which enabled the location of different levels of accumulated water saturation in fractures along the investigated profiles. It provided subsidies in future detail studies of aquifer characterization and presence of recharge areas.

Keywords – Geophysics, Aquifer, Structures.

1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Estudos realizados pela Organização das Nações Unidas (ONU) estimam que um bilhão de pessoas carecem de acesso a um abastecimento de água suficiente, definido como uma fonte que possa fornecer 20 litros por pessoa em um dia a uma distância de até mil metros. Essas fontes incluem ligações domésticas, fontes públicas, poços e nascentes protegidos e a coleta de águas pluviais. O Estado do Rio Grande do Sul tem uma população em torno de 11 milhões de habitantes, dos quais cerca de 50% são abastecidos por água subterrânea (Freitas, 2010).

Oscilações ou ciclos climáticos globais e, também, poluição das águas superficiais e aquíferos em zonas urbanizadas e no meio rural constituem os principais causadores da falta de recursos hídricos, estes têm importância para o abastecimento público industrial e agroindustrial. As atividades domésticas, lavagem de calçadas e os vazamentos na rede de fornecimento de água tratada também contribuem para o risco de escassez de água potável (POSTEL, 1993).

Soluções como a dessalinização das águas dos oceanos, parece ser uma alternativa, mas ainda apresenta um custo muito elevado. Outra forma seria a exploração das águas subterrâneas, grandes volumes de água potável contidos em aquíferos, que podem suprir a falta de água nos próximos anos.

A abordagem tradicional para exploração de águas subterrâneas possui o ônus de ter elevado custo e equipe tanto para mapeamento em superfície como na fase de exploração (implantação de poço, revestimento e maquinário).

Métodos eletrorresistivos, eletromagnéticos constituem as formas mais usadas para detecção, determinação da profundidade do nível freático e locação de poços (áreas com maiores vazões)

O EM - 34 é um equipamento que mede o campo eletromagnético e suas interações com o meio geológico na função da frequência. É denominado, portanto de FDEM (Frequency Domain Electromagnetics). Reconhecido na utilização e aplicação em pesquisas minerais, ambientais e em hidrogeologia. Estudos com o EM-34 se mostraram efetivos para descrever a estrutura aquífera e caracterizar plumas de contaminação da água subterrânea. Oferece, também, resultados satisfatórios na detecção e mapeamento de falhas, fraturas e zonas de cisalhamento, importantes na análise e caracterização hidrogeológica de aquíferos do tipo fissural em razão do elevado contraste de condutividade apresentado.

Stewart (1982) utilizou o equipamento para o mapeamento de águas salgada em aquíferos costeiros. Foi possível localizar zonas de fluídos de poros condutores em profundidades inferiores a 30-40 metros. Segundo o autor o método de condutividade EM oferece baixo custo e rapidez para levantamentos de água subterrânea. Jardani et al. (2007), apresentaram uma inversão conjunta de dados de condutividade (EM) e auto-potencial (Self-potential) foram utilizados para delinear a localização de vias de infiltração preferenciais em buracos (sinkholes) de água em subsuperfície, os resultados mostraram informações claras para determinar os contatos existentes, assim foi localizado o fluxo de água subterrânea para o aquífero. Cunha e Shiraiwa (2010) tiveram resultados satisfatórios na detecção de contaminação da água subterrânea por resíduos de couro em um local de descarte de lodo de curtume em valas escavadas no solo.

O presente estudo propôs uma investigação geofísica através do método geofísico eletromagnético EM-34. Teve como objetivo principal investigar a existência de descontinuidades litológicas ou estruturais de subsuperfície na detecção de anomalias correlacionáveis a áreas de captação e acúmulo de água subterrânea em um aquífero fissural.

Foram realizados três perfis (180, 320 e 210 metros de extensão respectivamente) seccionando as principais descontinuidades (juntas e fraturas) identificadas no local.

2 - ÁREA DE ESTUDO

2.1 – Localização

A área esta localizada no município de Caçapava do Sul, na porção centro sul do Estado do Rio Grande do Sul. O município de Caçapava do Sul dista 259 km partindo de Porto Alegre. O acesso dá-se pela ERS 401, BRS 290 e BRS 153. A área situa-se próxima a BR-392 ao fundo da Indústria de Laticínios Caçapava – INDULAC (Figura 1).

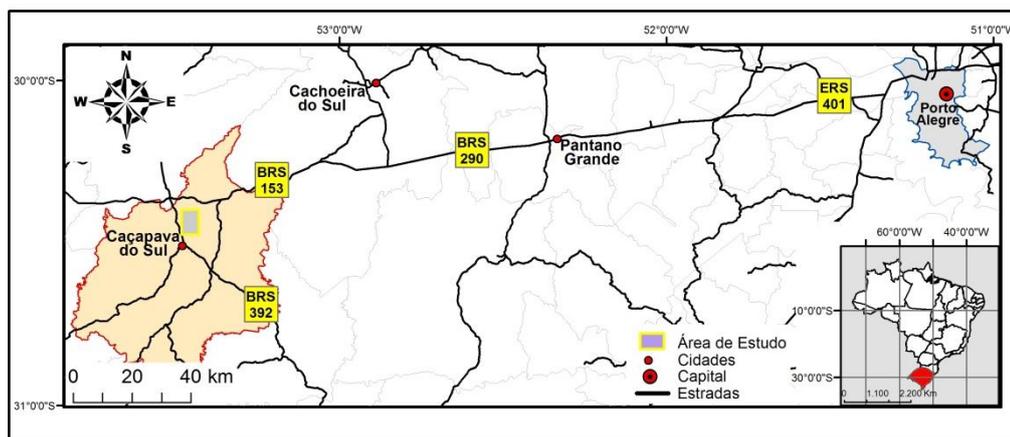


Figura 1. Localização da área de estudo, principais cidades e rodovias de acesso (Adaptado de CPRM 2000).

2.2 - Contexto geológico

Regionalmente, a área encontra-se inserida no contexto onde predominam rochas cristalinas designadas como Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) situado, segundo Almeida (1980), na porção meridional da Província da Mantiqueira. Estas rochas cristalinas estão representadas por um conjunto de rochas graníticas, gnaisses, rochas metamórficas, associações de sedimentos e rochas vulcânicas antigas (Wildner e Lopes, 2010). É o resultado dos processos de geração e deformação de crosta continental, principalmente pela acresção e deformação de vários blocos crustais pré-cambrianos, cuja maior contribuição ocorreu nos ciclos orogênicos Transamazônico (2,26-2,00 Ga – Paleoproterozóico) e Brasileiro (900-535 Ma – Neoproterozóico) (Hartmann et al., 2007). Três domínios geofísicos foram reconhecidos por Costa (1997) e são denominados de Domínio Geofísico Leste, Domínio Geofísico Central (área deste estudo) e Domínio Geofísico Oeste.

No contexto local, a área possui como litotipo a denominada Suíte Granítica Caçapava do Sul. É composta principalmente por granodioritos, monzogranitos e sienogranitos (Nardi e Bitencourt 1989). Essas rochas apresentam variações de leucogranitos, biotitas granitos e granitos transicionais (CPRM 2000) com camadas superficiais alteradas de pouca profundidade (< 30cm) e, camada de solo arado com espessuras médias de 50cm em média. (Figura 2).

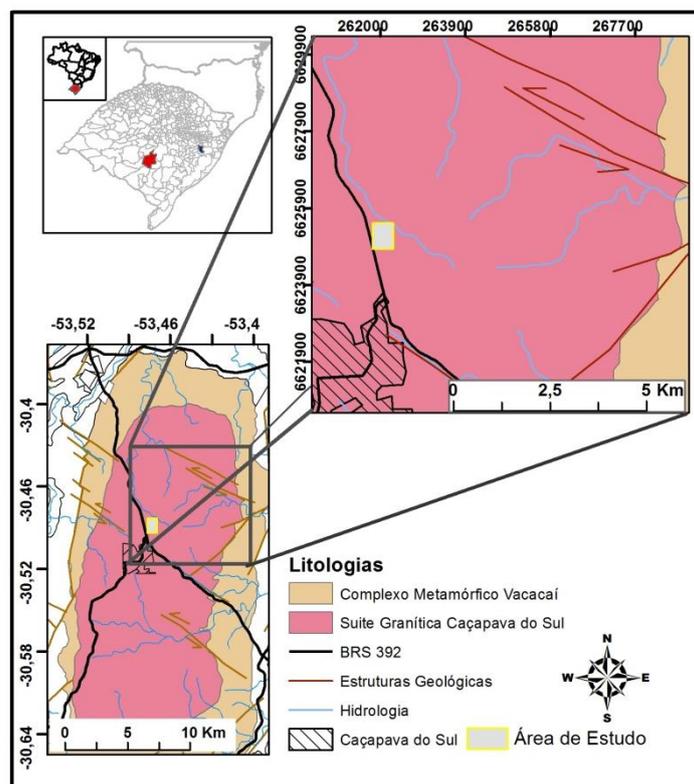


Figura 2. Contexto geológico da área com ênfase na Suíte Granítica Caçapava do Sul (Adaptado de CPRM, 2000).

2.3 - Contexto Hidrogeológico da região

Considerando a proposição deste trabalho, a devida compreensão e contextualização da área em termos hidrogeológico faz-se importante. O Projeto Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio grande do Sul (Machado e Freitas, 2005) dividiu os aquíferos do Estado em 21 sistemas, conforme a porosidade e potencialidade para ocorrência de água subterrânea, distribuídos em seis grupos. De acordo com Freitas (2010), o grupo correspondente à área de estudo é de potencial baixo e ocupa 26,64% do território Gaúcho. A distribuição geral dos aquíferos do Rio Grande do Sul mostra que há predominância de aquíferos de médio a baixo potencial para ocorrência de água subterrânea.

Abrangendo os municípios de Bagé, Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul e pequena porção de Porto Alegre há o grupo denominado *Aquíferos Limitados de Baixa Possibilidade para Água Subterrânea em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas* (Freitas, 2010). Neste grupo registra-se i) Aquífero Embasamento Cristalino II e ii) Aquitardos Permianos. O Aquífero Embasamento Cristalino II relaciona-se às rochas graníticas, gnáissicas, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorfizados que estão afetadas por fraturamentos e falhas. Apresentam capacidades específicas inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

O principal uso desse sistema é o abastecimento de pequenas comunidades rurais e assentamentos do INCRA. Sua vulnerabilidade está relacionada à espessura do manto de alteração.

No município de Caçapava do Sul ocorre o Sistema Aquicludo Eopaleozoico composto por arenitos finos a médios, róseos a avermelhados. Sofreram intensa diagênese e metamorfismo, ocasionando uma baixa porosidade, por isso são classificados como aquíferos de baixas condições de armazenamento de água subterrânea.

2.4 - Arcabouço Estrutural

Estruturalmente a região é definida, segundo Costa et al., (1995) por lineamentos magnéticos e estruturais do ESRG que compõem os Domínios Geofísicos. Estes domínios foram correlacionados e caracterizados por Kazmierczak (2006) em um estudo de caráter regional por meio de imagens aéreas e satélite *LandSat*. Observa-se que no Domínio Geofísico Central (local do estudo), as principais concentrações de densidade dos lineamentos estão paralelas e com direção NE.

O estudo de Kazmierczak (2006) reconhece quatro domínios estruturais; 1) *trends* de lineamentos de direção preferencial noroeste (NW), são áreas onde aflora a Bacia do Paraná; 2) domínio localizado na parte central referente à Bacia do Camaquã, onde nota-se uma direção preferencial para nordeste, marcado pela presença de lineamentos escalonados em *echelon*; 3) onde aflora o ESRG, localizado na porção leste, não ocorre direção preferencial de lineamentos, mas é fortemente marcada a direcional norte; 4) *trends* concomitantes que marcam as estruturas do embasamento onde aflora o escudo, e também ocorre a influência da Falha Ibaré com estruturas NW e a Sutura de Caçapava sobre os Lineamentos NE (Figura 3).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Aquisição de campo (Geofísica)

A aquisição das medidas de condutividade foi realizada por um condutímetro de terreno, sistema EM 34-3 modelo XL, fabricado pela Geonics *Ltd.* – Canadá. O equipamento é portátil, possui duas bobinas (transmissora e receptora) que são conectadas entre si com distâncias variáveis, sendo que tanto o transmissor e o receptor são móveis. As bobinas são operadas verticalmente e horizontalmente. Segundo McNEILL (1980) as frequências de operação variam conforme o espaçamento entre as bobinas, para separação entre bobinas de 10 m funciona com a frequência de 6,4 kHz, para 20 m 1,6 kHz e para 40 m de espaçamento 0,4 kHz. A profundidade mínima de investigação é de 7,5 metros e máxima de 60 metros. Características e especificidades do

equipamento são apresentadas por McNEILL (1980). Os perfis 1, 2 e 3 (180, 320 e 210 metros respectivamente) possuem espaçamentos entre bobinas de 10, 20 e 40 metros (dipolo vertical e horizontal).

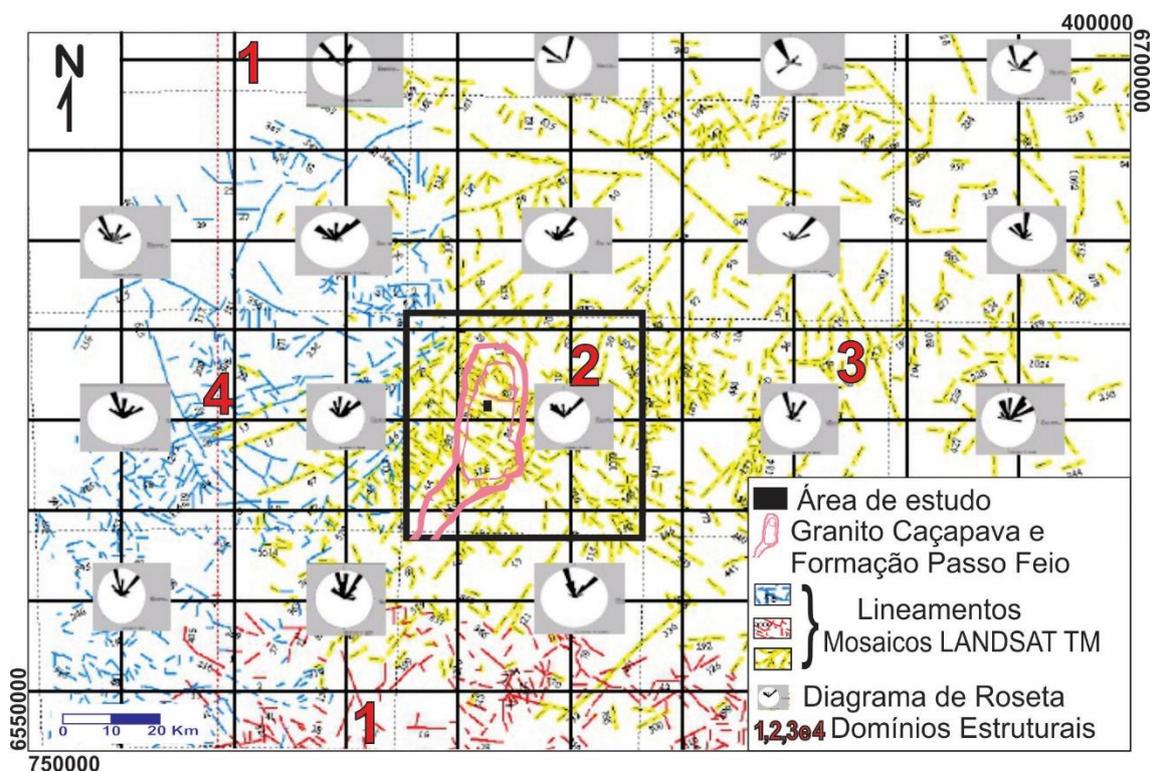


Figura 3. Posicionamento das famílias de lineamentos dominantes e domínios estruturais na região com detalhe da região correspondente a área de estudo (retângulo preto) (Adaptado de Kazmierczak, 2006).

3.2 - Posicionamento e georreferenciamento dos perfis

Simultaneamente a realização dos perfis, um levantamento altimétrico planimétrico foi realizado usando-se um receptor GPS diferencial (DGPS) modelo *Pro XR* da *Trimble Inc.* Este equipamento é constituído por um receptor de precisão horizontal e vertical (milímetros nas coordenadas X e Y e centímetros em Z) ao ser empregado o método de correção diferencial (Estação Base *versus* Estação móvel) (Figura 4). Os processamentos dos dados foram realizados utilizando-se arquivo digital disponibilizado por www.ibge.gov.br da Estação Base de Referência da cidade de Santa Maria/RS fornecidas pelo IBGE, projeto RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS).

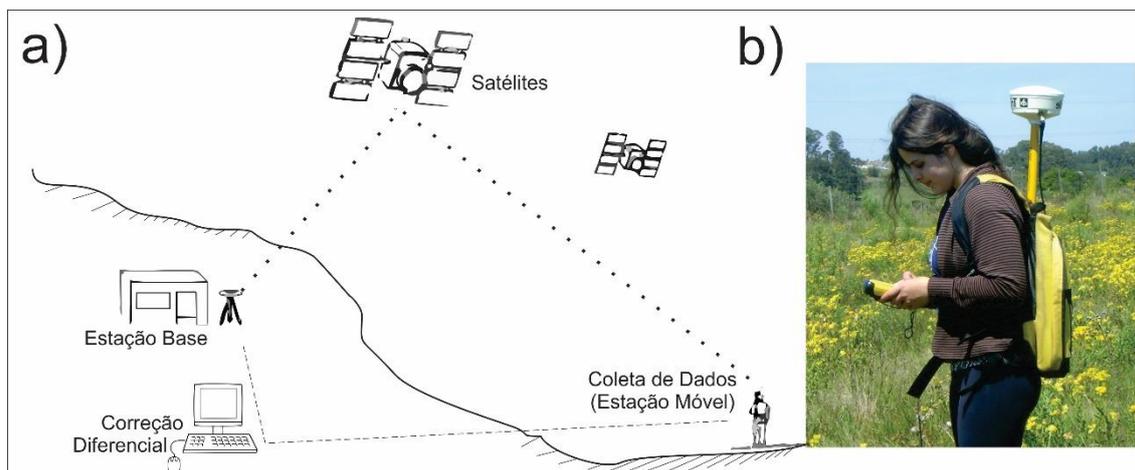


Figura 4. a) Esquema representativo da obtenção dos dados corrigidos planialtimétricos (metodologia DGPS) adotada para o posicionamento dos perfis geofísicos e geração do MDE (Modelo Digital de Elevação) no local. Em b) Equipamento GPS Pathfinder Pro XR utilizado. (Adaptado de Pathfinder, 2001).

Para a correção diferencial (dados Estação Base *versus* Estação Móvel) foi utilizado o *software* de processamento Pathfinder Office 3.10. A fim de se ter a melhor precisão das estações levantadas e obter-se maior acuracidade no modelo digital de elevação de terreno (MDE) gerado, procurou-se manter um índice de diluição PDOP (*Position Dilution of Precision*) máximo de 3. O valor máximo recomendado para que o DGPS funcione com precisão, segundo Pathfinder (2001) é um PDOP de 6.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Geofísicos

Os perfis 1, 2 e 3 realizados para a área são apresentados na forma de seções em profundidade (10, 20 e 40 metros) para o Dipolo Horizontal adquirido por meio do arranjo com as bobinas dispostas na vertical e seções para o Dipolo Vertical com as bobinas dispostas na horizontal (Figuras 5 e 6, respectivamente). Valores de condutividade são apresentados nas seções em profundidade gerados em visualizações 3D (*voxel*). O *grid* é composto de células de 10X10 metros ($\frac{1}{4}$ do valor amostrado) com as respectivas profundidades e perfis visualizáveis em uma direção escolhida, a fim de possibilitar melhor análise e interpretação (Figura 7).

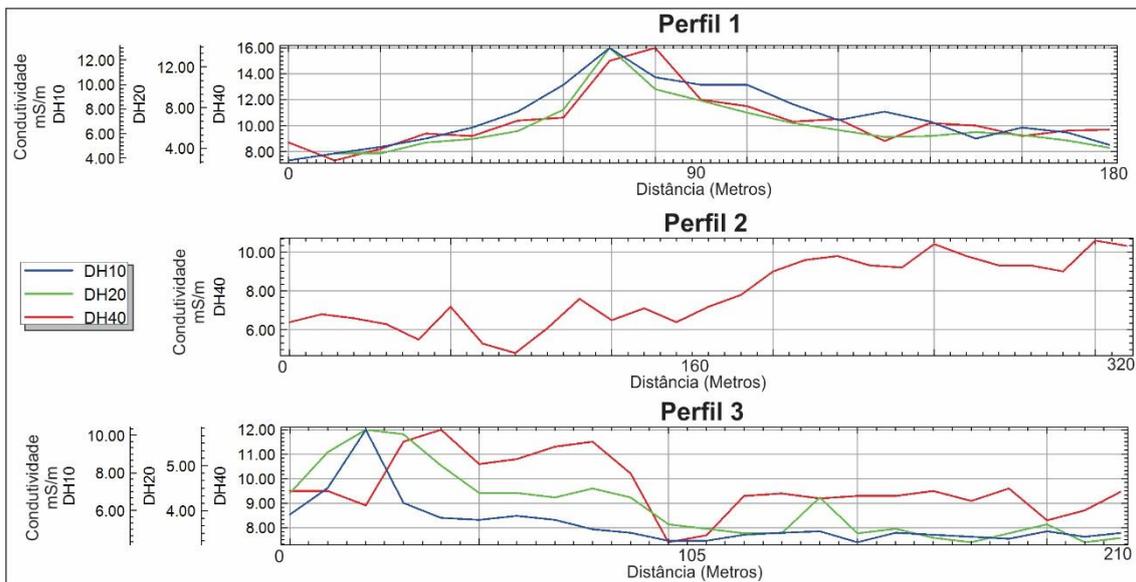


Figura 5. Perfis 1, 2 e 3 de 180, 320 e 210 metros de distância representando os valores de condutividade (mS/m) para o Dipolo Horizontal de 10, 20 e 40 metros (azul, verde e vermelho).

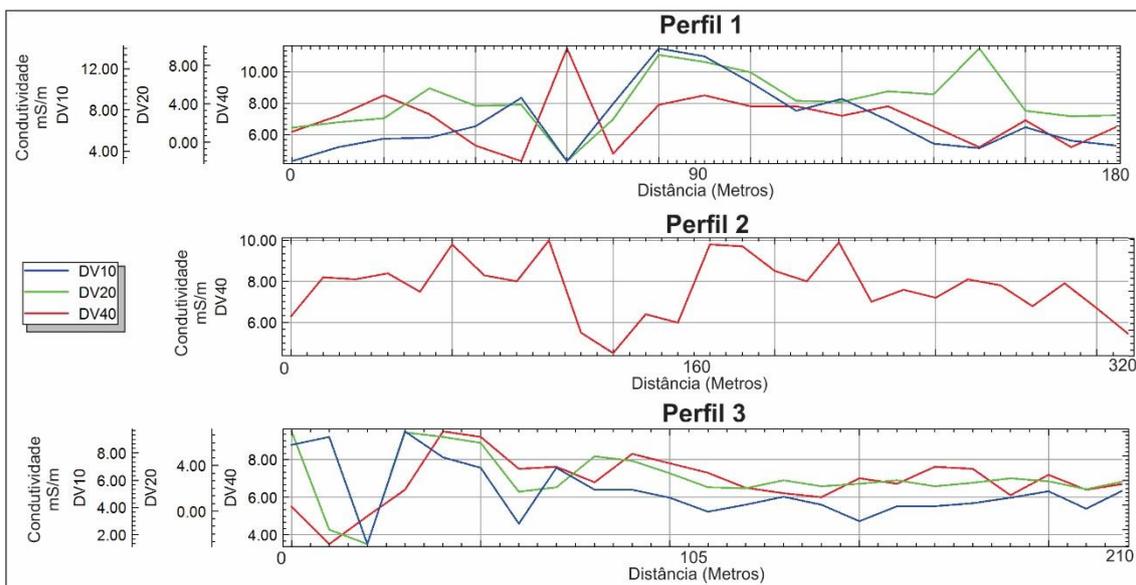


Figura 6. Perfis 1, 2 e 3 de 180, 320 e 210 metros de distância representando os valores de condutividade (mS/m) para o Dipolo Vertical de 10, 20 e 40 metros (azul, verde e vermelho).

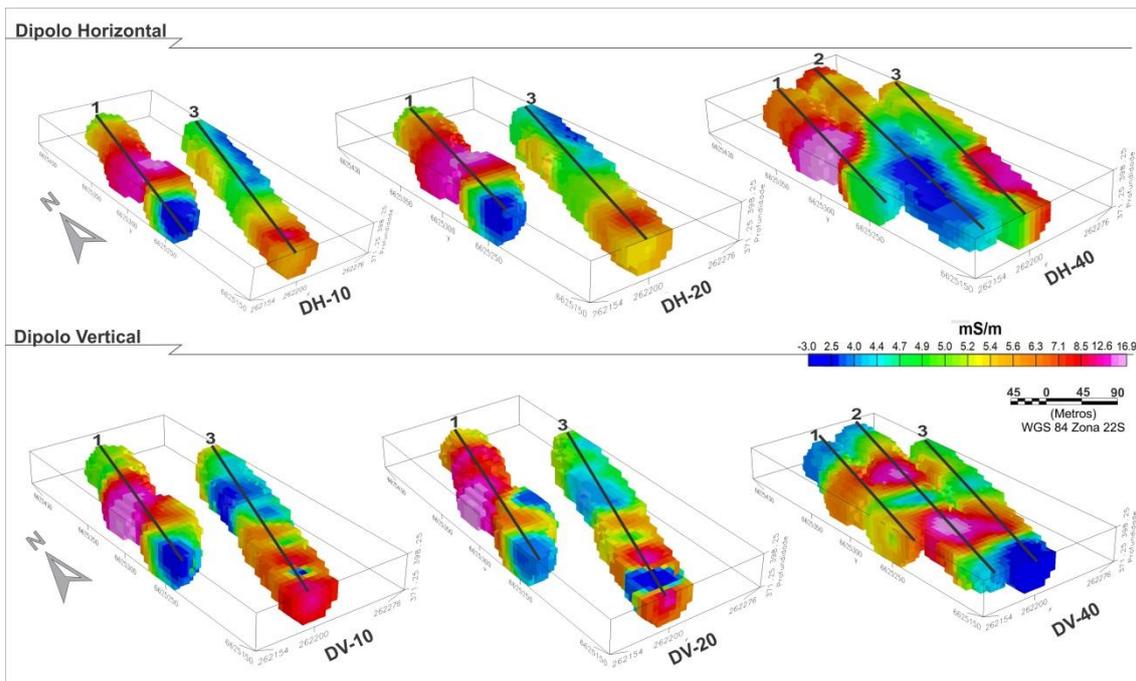


Figura 7. Voxels 3D com os perfis 1, 2 e 3 com Dipolo Horizontal de 10, 20 e 40 metros, respectivamente e Dipolo Vertical com 10, 20 e 40 metros, respectivamente.

Integração dos perfis 1, 2 e 3 dos dipolos Horizontais e Verticais para análise e interpretação (Figura 8).

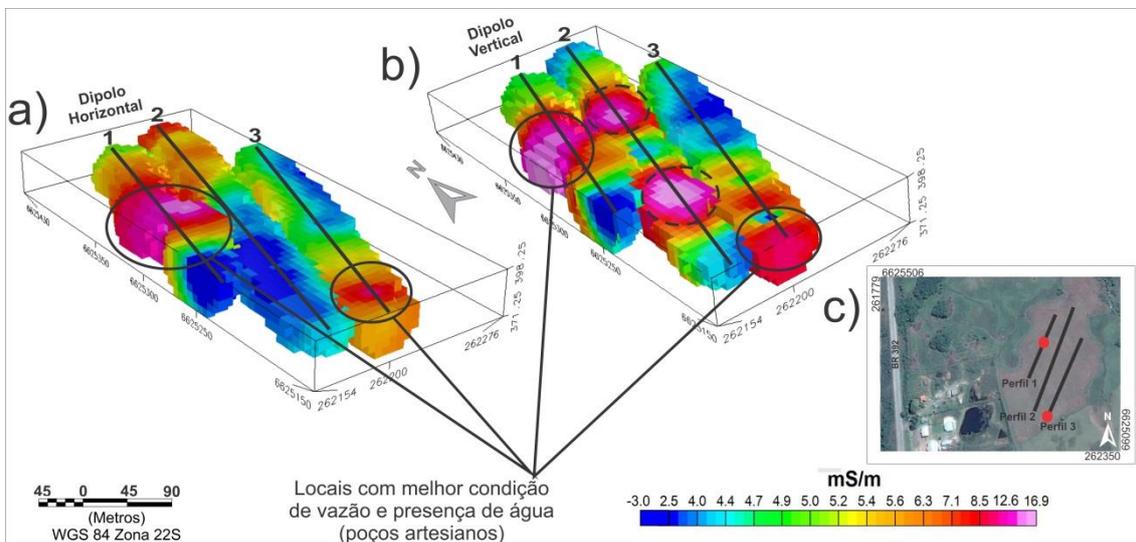


Figura 8. Perfis 1, 2 e 3 integrados (DV/DH) em uma visualização 3D e variações de condutividade medidas a) e b). Em c) a localização dos perfis na área. Principais anomalias condutivas detectadas em superfície delimitadas pelos círculos pretos. Anomalias detectadas tanto em superfície como em profundidade, delimitadas pelos círculos tracejados.

4.2 - Modelo Digital de Elevação

Para o modelo digital de elevação um total de 167 pontos foram medidos com as coordenadas horizontais (latitude e longitude) e vertical (altitude). Um espaçamento de 20 metros entre pontos foi determinado. Grid de 54X53 pontos em X e Y respectivamente composto por células de 7,53X7,53 mantendo espaçamento mínimo de 1/4 da amostragem.

A aquisição de pontos nos arredores da área foi feita com objetivo de se obter uma representatividade da variação do terreno em toda área. Os dados brutos iniciais tinham uma precisão de aproximadamente 5,6 metros (altitude). Após a correção diferencial foi obtido uma precisão de 0,4 metros. A maior parte da aquisição de dados teve uma efeméride de no mínimo de 7 satélites disponíveis e PDOP menor do que 3.

A variação de altitude em toda área possui uma declividade que varia das cotas de 408,01m a 382,6 m (Figura 9).

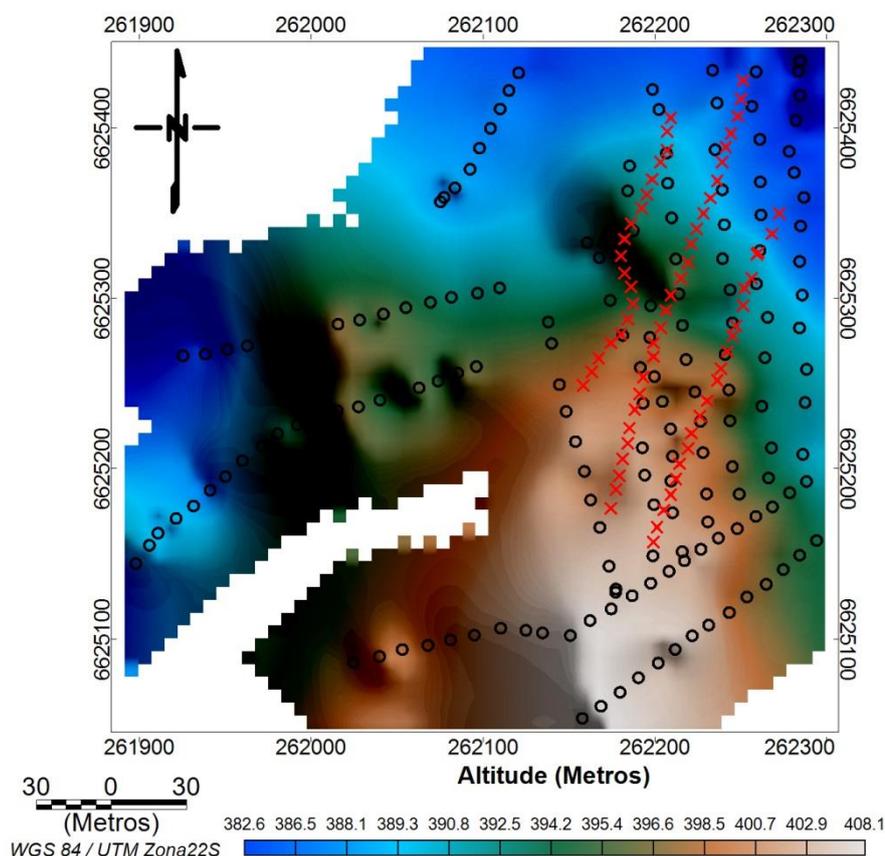


Figura 9. Modelo Digital de Elevação com os pontos medidos (círculos pretos) com GPS diferencial e perfis de condutividade realizados (vermelho).

4.3 – Estruturas

Estudos regionais sobre lineamentos mostram que no Domínio Geofísico Central (Costa et al. 1995), localizado na parte referente à Bacia do Camaquã, as principais concentrações de densidade dos lineamentos estão paralelos. As direções principais dos lineamentos são NE e NW (Kazmierczak 2006) (Figura 10a).

Localmente, há poucas rochas aflorantes, dificultando as medidas de fraturas e juntas para análise. Porém, alguns locais de rocha exposta foram identificados possibilitando um total de 29 medidas estruturais. As principais direções preferenciais são EW e NW de acordo com a Figura 10b.

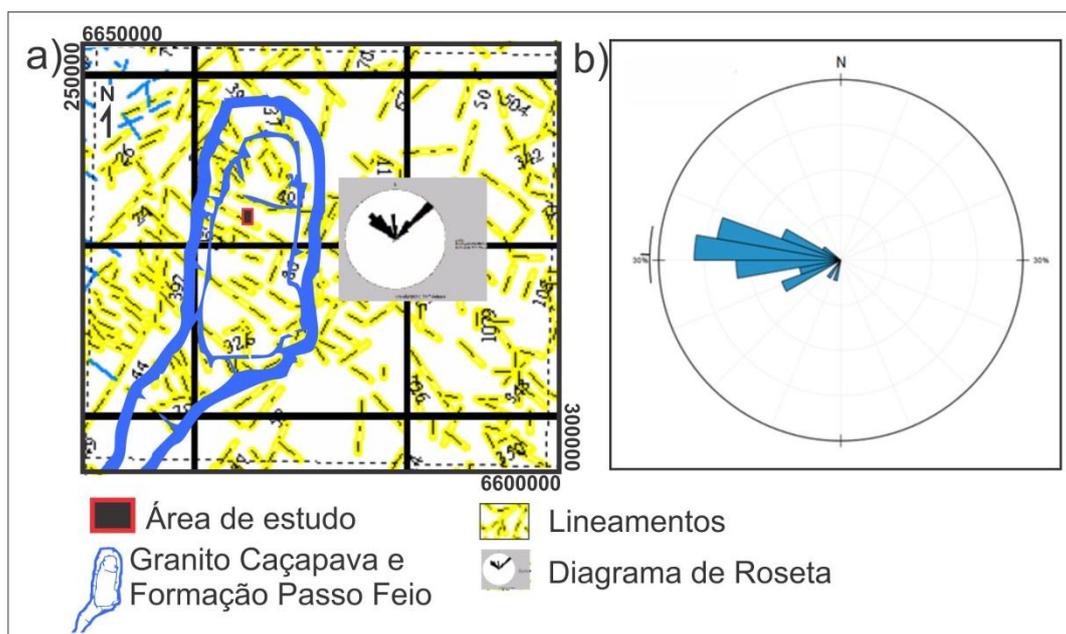


Figura 10. Em a) recorte do estudo regional realizado por Kazmierczak 2006 sobre as principais direções de lineamentos, em b) gráfico de frequência das principais direções de fraturas e juntas medidas no local.

5 – CONCLUSÕES

Considerando a escassa presença de falhas e fraturas e de afloramentos, a análise das discontinuidades condicionantes a vazão e ocorrência de água por meio de dados de sensoriamento remoto prévios (LandSat) ofereceu satisfatórios resultados e condizentes com as medidas de juntas e fraturas realizadas no local em rocha aflorante.

A detecção de áreas favoráveis a prospecção de água e locação de um poço tendo como a método eletromagnético indutivo (FDEM) apresentou zonas condutivas anômalas correlacionáveis ao contexto e arcabouço estrutural. A metodologia se apresentou eficaz, rápida e de baixo custo em estudos de água subterrânea nas características apresentadas (aquífero fissural, baixa vazão e

cobertura de solo sobre a rocha). Oferece, também, subsídios para futuras análises e estudos em áreas correlatas ou similares.

Como maior detalhamento do aquífero no local, sugere-se um adensamento de perfis e integração com outros métodos geofísicos (eletrorresistividade) a fim de se delimitar e estimar com maior acuracidade os objetivos propostos.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M. 1980. Relatório sobre Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. Relatório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 14091, 187 p.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). 2000. Folha Cachoeira do Sul SH-22-Y-A, Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília.

Costa, A. F. U. 1997. Teste e modelagem geofísica da estruturação das Associações Litotectônicas Pré-Cambrianas no escudo Sul-riograndense. Tese de Doutorado, IG-UFRGS, Porto Alegre, 291p.

Costa, A.F.U., Fernandes, L.A.D., Shukowsky, W., Nardi, L.V.S.M., Bitencourt, M.F. 1995. Teste dos Modelos Tectônicos e de Posicionamento do Complexo Granítico de Caçapava do Sul através de Estudos de Modelagem Gravométrico 3D. Revista Brasileira de Geofísica., v13, n. 2, p.91-101.

Cunha, L.F.J., Shiraiwa, S. 2010. Aplicação do método eletromagnético indutivo na investigação da pluma de contaminação da água subterrânea por resíduos de cromo de curtume. Revista Brasileira de Geofísica.

Freitas, A.M. Recursos Hídricos Subterrâneos. 2010. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. CPRM. 71-86p.

Jardani, A., Revil, A., Santos, F., Fauchard, C., Dupont, J.P. 2007. Detection of preferential infiltration pathways in sinkholes using joint inversion of self-potential and EM-34 conductivity data. Geophysical Prospecting.55, 749-760.

Kazmierczak, T.S. 2006. Mapeamento da Bacia do Camaquã com a utilização de dados geofísicos, geologia e sensoriamento remoto. Tese de Mestrado, IG-UFRGS, Porto Alegre. 111p.

Machado, J. L. F., Freitas, M. A. 2005. Projeto mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final. Porto Alegre: CPRM. CD-ROM e mapa escala 1:750.000.

McNeill, J. 1980b. Electrical Conductivity of Soils and Rocks. Technical Note TN, 5: 21. www.geonics.com.

Nardi, L. V. S. e Bitencourt, M. F. A. S. 1989. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, 19: 153-169.

Pathfinder. 2001. GPS Pathfinder Systems- Receiver Manual.

Postel, S. 1993. Uma escassez anunciada. Revista O Correio, Rio de Janeiro: UNESCO.

Stewart, T.M. 1982. Evaluation of Eletromagnetic Methods for Rapid Mapping of Salt-Water Interfaces in Coastal Aquifers. Ground Water Vol. 20, No. 5.