Uso de técnicas de processamento de imagens orbitais *Aster* e *Landsat 5 TM* para identificação de aquífero fraturado na porção sudoeste da Suíte Granítica Caçapava do Sul, RS

Josué Madrid Baltezan¹ Marco Antonio Fontoura Hansen¹ José Pedro Rebés Lima¹ Alini Nunes Rodrigues¹

¹Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA Av. Pedro Anunciação, s/n° Vila Batista - 96570-000 - Caçapava do Sul - RS, Brasil jmbcac@bol.com.br, {marcohansen, jprebes} @unipampa.edu.br, alininr@hotmail.com

Abstract. This research involved hydrogeological and structural geology in the Caçapava do Sul city. Was conducted a study of an area for drilling wells, due to lack of water, especially during periods of drought that has a higher recurrence in recent years. The objective of this research was to identify fractures with potential aquifer, located on part of the Granitic Suite Caçapava do Sul (GSCS), using satellite images Landsat 5 TM, Aster, Global Positioning System (GPS), and integrated the field survey with structural geology. With the remote sensing data were obtained the structural lineaments of the study area. The SPRING 4.2 was the software for Geographic Information System (GIS) used to doing the data base. The structural analysis enabled the identification of two preferential directions NW-SE and NE-SW. The NW-SE directions are the lineaments of lower density but with higher length, identified by statistical treat of merging images of Landsat 5 TM and Aster. The directions of the NE-SW lineaments are greater in number, but with shorter length compared with the NW-SE. The cross-faults were used to identify an ideal area for well drilling tubular. The use the technique of digital image processing, together with the structural analysis of field allowed to identify faults and structural lineaments with the possible presence of water, facilitating location and reducing of risk localization to chose the best place to drill.

Palavras-chave: remote sensing, image digital processing, structural geology, groundwater, sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, geologia estrutural, água subterrânea.

1. Introdução

A água subterrânea é no Brasil, assim como no mundo inteiro, uma fonte imprescindível de abastecimento de água, mesmo que em regiões como Sul e sudeste. Este recurso é muito importante em época de seca (Cleary, 2007; Sausen et al., 2007).

A água nas condições ideais de uso será um produto raro de se encontrar com o tempo, se não forem tomadas as devidas providências, pois dificilmente está pura, devido à capacidade de dissolver substâncias minerais, gases e matéria orgânica por onde percola (adaptado de Hansen, 2004).

Os métodos de prospecção de água subterrânea envolvem conhecimentos específicos como métodos diretos tipo perfuração, usados por geólogos e os indiretos como fotogeologia, sensoriamento remoto e método de geofísica terrestre.

Para a fundamentação teórica sobre sensoriamento remoto e águas subterrâneas foram utilizadas as literaturas de Moreira (2004); Florenzano (2007); Novo et al. (2008); Gonçales e Giampá (2006).

A análise de imagens orbitais de satélites tem sido largamente utilizada em pesquisas do ramo das geociências, envolvendo principalmente a avaliação de recursos hídricos, a prospecção hidrogeológica subterrânea de aquíferos fraturados (secundários) (Lousada e Campos, 2005; Madrucci et al., 2005; Pinéo, 2005).

Em termos de geologia estrutural várias foram as pesquisas na região, dentre as quais se destacam as de Nardi e Bitencourt (1989); Trevisol (2007).

O objetivo desta pesquisa é identificar fraturas com potencial aquífero, localizadas sobre parte da Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS), com a utilização de imagens de satélites (Sensoriamento Remoto), Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System - GPS*) e levantamento estrutural de campo.

A área de estudo está localizada sobre o Complexo Granítico de Caçapava do Sul, (Figura 1) estando a uma altitude de aproximadamente 444 metros. Caçapava do Sul possui uma área de 3.047,1 km² com uma população em 2010 de 33.700 habitantes, com uma densidade demográfica de 11,1 hab. km⁻² (IBGE, 2010).



Figura 1. Carta imagem de situação e localização da área de estudo no município de Caçapava do Sul. Imagem *Landsat* 5 *TM:* Falsa cor com B5, B4 e B2 (RGB).

2. Metodologia de trabalho

A seguir são descritos sobre a análise e processamento digital de imagens e sobre o levantamento geológico estrutural da área de estudo.

2.1 Análise e processamento digital de imagens

Primeiramente foram obtidas as imagens do *Landsat 5 TM*, do INPE, com data de aquisição no dia 3 de Abril de 2011, correspondendo a órbita ponto 222-081L2, que teve sua passagem neste ponto no dia 13 de Outubro de 2009. O motivo de escolha desta imagem é por estar isenta de cobertura de nuvens. O objetivo é identificar os lineamentos estruturais.

A etapa seguinte foi o recorte da área a ser pesquisada e a resolução espacial trabalhada foi de *pixel* com 30 m por 30 m. Após, foi criado o banco de dados contendo todas as bandas espectrais, este foi estruturado usando o gerenciador *Access* utilizado pelo *software* Spring 4.2 (SPRING, 1996). Gerado o banco de dados, foram importadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Posteriormente, registraram-se as imagens, com dados de posições geográficas (georreferenciamento) adquiridos em campo com *GPS South S-86* e dados extraídos das cartas topográficas do Serviço Geográfico do Exército (folhas Caçapava do Sul e Arroio Santa Bárbara).

Os registros das imagens foram as calibrações efetuadas nas imagens de satélites, com coordenadas geográficas conhecidas. Após o georreferenciamento das imagens foi feita a aplicação da técnica de filtragem, análise das componentes principais, as quais foram realçadas por manipulação de histograma, além da transformação *IHS* (Intensidade, Matiz e Saturação).

Os filtros direcionais do tipo passa-alta utilizados possuem maior aplicação nos estudos geológicos de identificação e análise dos lineamentos estruturais. Os coeficientes dos filtros direcionais objetivaram realçar as feições em direções predeterminadas para melhor definição dos lineamentos (adaptado de Filho e Fonseca, 2009).

No processamento digital foi usado também uma imagem pancromática *Aster* em fusão com as imagens do *Landsat 5 TM*. As imagens *Aster* propiciam a elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) para facilitar a observação das estruturas da superfície terrestre, identificando o relevo e os lineamentos da região de estudo (ASTER, 2011).

2.2 Levantamento geológico estrutural

Nesta etapa foram medidos os lineamentos estruturais existentes em afloramentos rochosos. Foram realizadas 125 medidas de atitudes dos elementos estruturais. No levantamento de campo foram obtidas as atitudes com direção e mergulho dos lineamentos tectônicos, com o uso de bússola tipo Brunton, aplicando-se a regra da mão direita. Estes valores de atitudes dos lineamentos tectônicos (falhas, fraturas) referente à SGCS foram anotados em uma caderneta de campo e, posteriormente lançados em uma planilha *Excel* 2007 da *Microsoft Office*.

Os dados estruturais de campo foram exportados para arquivos no formato *.txt do *software StereoNet* 3.03, para a confecção do diagrama de rosetas da área de estudo.

O mapeamento estrutural em campo visou correlacionar com o levantamento geológicoestrutural obtido no sensoriamento remoto, definindo uma área-alvo para realização futura de perfis para aplicação do método eletromagnético *FDEM-GCM*.

3. Resultados e discussões

Na interpretação do processamento digital e análise estrutural foram realizadas as composições coloridas falsa cor PC234-PC1+PC457-PC1+B7 RGB TM e PC457+B4+B7 RGB TM, nas figuras 2 (A, C), além destas foi feita uma fusão da imagem *Aster* pancromática com a *Landsat 5 TM*, que é a composição PC234-PC1+PC457-PC1+*Aster* RGB TM+MDT (figura 2 B). Estas composições mostraram os lineamentos que cruzam a área regional do estudo na direção NW-SE, em comparação aos lineamentos menores de NE-SW. Na extremidade inferior da imagem pode ser observada também a drenagem do arroio Passo Feio, que cruza na direção W-E, esta drenagem é nítida praticamente em todas as composições feitas e está localizada na borda Sul da SGCS, em contato litológico com a Sequência Metamórfica Vacacaí.

Na fusão da imagem *Aster* com a *Landsat 5 TM* ressaltou o topo do granito e o contorno do mesmo na borda sudoeste, além das drenagens dos afluentes do arroio Passo Feio.

Dentro das diversas composições das transformações *IHS*, foram procuradas as que melhor definiram as áreas drenadas, por motivo de mostrarem as estruturas regionais, possibilitando identificar onde ocorrem as nascentes da região, pertinentes a localização do aquífero fraturado.

Aplicando a transformação *IHS* e manipulando a operação do contraste passando de linear para negativo em algumas das composições, possibilitou uma boa observação das drenagens da região estudada, bem como se ressaltaram as drenagens menores localizadas na área, onde será aplicado o método geofísico terrestre Eletromagnético com condutivímetro de terreno.

A figura 3 (A) com a composição, IHS234 (componente I)+B2+B3, RGB, foi aplicado à operação do contraste, que foi negativa na cor vermelho (R), ressaltando a área de drenagem, além de destacar as vias de acessos, e proporcionar leve sombreamento ao relevo.



Figuras 2 (A, B, C). Composição das componentes principais: (A) PC1 (234) mais a PC1 (457) e a Banda 7, RGB; (B) Fusão da imagem *Aster* com mais duas Bandas espectrais *TM*: Fusão *Aster*-PC1 (234) mais PC1 (457) e o modelo digital de terreno (*Aster*), RGB; e (C) PC1 (457) mais a banda 4 e a banda 7, RGB.

Esta mesma análise se repete nas outras duas figuras 3 (B) e (C).

Na figura 3 (B) foi obtido com a utilização da operação negativa do contraste, só que desta vez na cor verde (G), definindo melhor o mapa do curso de água superficial, mas sem ressaltar o relevo, permitindo visualizar o contorno das vias de acesso. Na figura 2 (C) observa-se todo o conjunto estrutural da região, como comentado nas figuras 2 (A) e (B). A operação utilizada no contraste desta imagem foi linear.

É pertinente evidenciar, que as imagens anteriores apresentadas embora com melhores definições para escolha da área alvo, foi na fusão *IHS*, que se ressaltaram todas as drenagens

em conjunto com as estruturas NW-SE e NE-SW, se observa ainda a caracterização das Áreas de Preservação Permanentes (APPs), possibilitando assim um enfoque ambiental dos recursos naturais da porção sudoeste da SGCS.



Figuras 3 (A, B, C). Transformações *IHS* com mais bandas espectrais *TM*: (A) Componente I (2,3,4) mais a Banda 2 e Banda 3, *RGB*; (B) Componente I (4,5,7) mais a Banda 7 e Banda 5, *RGB*; e (C) Componente I (2,3,4) mais Componente I (4,5,7) e mais a banda 7, *RGB*.

As componentes principais e as transformações *IHS*, foram eficaz para analisar o conjunto geologia estrutural e a drenagem, identificando os cruzamentos de fraturas onde será verificada a possibilidade de conter água com a aplicação de método geofísico mencionado e provável local para perfuração de um poço.

Com o auxílio do *software* SPRING, versão 4.2 do INPE, foram extraídos 814 lineamentos estruturais (Figura 4). Com isto, foi observado o cruzamento dos lineamentos tectônicos escolhidos entre os vários existentes na região. A área escolhida na imagem fica próximo ao cruzamento das coordenadas Latitude: UTM 6614000 m N, e longitude: 254000 m E.



Figura 4. Mapa de lineamento tectônico da área regional estudada com a localização da área alvo (em vermelho) para futuro estudo eletromagnético.

Com os dados de lineamentos obtidos foi confeccionado um diagrama de rosetas (figura 5), indicando as direções preferenciais dos lineamentos totais observados. Nota-se que, conforme verificado na análise das composições com falsa cor as direções preferências são NW-SE e NE-SW, contendo menos estruturas lineares nas direções N-S e E-W.



Figura 5. Diagrama de Rosetas (frequências absoluta) na área regional estudada. N=814.

Foi confeccionado no *software StereoNet*, um diagrama de rosetas (Figura 6). Neste diagrama se encontram as direções preferenciais. É pertinente observar que confirma a preferência dos dados, como observados nas imagens com direções para NW-SE. A ausência de afloramentos rochosos e a presença de muitos matacões impossibilitaram a obtenção de um número maior de medidas estruturais em campo.



Figura 6. Diagrama de rosetas das atitudes das fraturas ocorrentes em campo, na área alvo onde estão sendo executados os perfis perpendiculares eletromagnéticos com condutivímetro de terreno. N=125.

Em geral, os perfis denotam uma estrutura linear e que condiz com a observada nos filtros passa alta do *software* SPRING, versão 4.2.

4. Conclusões e recomendações

Considerando os objetivos propostos, a metodologia utilizada e os resultados obtidos, são apresentadas as seguintes considerações a título de conclusões e recomendações:

- o uso de sensoriamento remoto como recurso para investigação de uma área promissora para recursos de água subterrânea é útil. Esta técnica facilitou o reconhecimento das estruturas, através das técnicas de filtragem, transformações *IHS*, componentes principais e realce por manipulação de histograma que colaboraram na construção de um mapa de lineamentos que corrobora com os dados reais de campo.

Sem o uso desta técnica de composição falsa cor e cruzamento de imagens *Aster* e *Landsat 5 TM*, ficaria difícil a investigação e identificação das estruturas em escala regional, como as feições de lineamentos tectônicos e drenagens;

- o uso da transformação *IHS*, conjuntamente com manipulação do histograma, realçou as feições das drenagens e estruturas lineares. Em análise das composições, a que melhor realçou as feições das drenagens foi a composição *IHS* (4,5,7) componente (*I*+B7+B5) *RGB*, delineando toda área drenada. Em caso de uma investigação ambiental a fusão *IHS* (*I* e *S* obtidas das bandas 5,3,2+*S* obtida das bandas 4,3,2) *RGB*, realça as APPs; e

- pela análise estrutural possibilitou a identificação de duas direções preferenciais NW-SE e NE-SW. As direções NW-SE são as de menor densidade de lineamentos, porém com maior comprimento, identificadas pela fusão das imagens do *Landsat 5 TM* e do *Aster*. As direções dos lineamentos NE-SW são em maior número, mas com menor comprimento em comparação com as NW-SE. A existência de outras duas famílias de fraturas (N-S e W-E) apresenta menor frequência de ocorrência. Estes dados foram confirmados pelo diagrama de rosetas e dados de geologia estrutural de campo. Os ângulos de mergulho das falhas poderão ser identificados em campo com o uso do condutivímetro de terreno.

Portanto, é importante ressaltar que o uso da técnica de processamento digital de imagem em conjunto com a análise estrutural de campo foram métodos integrados, que permitem identificar de forma eficaz as fraturas, os lineamentos ou falhas com a possível presença de água. Facilita a locação e diminuição de riscos na escolha para perfuração de poços. Trata-se de um excelente critério para prospecção de água subterrânea.

Referências bibliográficas

ASTER, 2011. (Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer) Disponível em: http://asterweb.jpl.nasa.gov/> Acesso em 10 nov. 2011.

Cleary, R. W. **Água Subterrânea**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Ed. Marques - Saraiva, Brasil, 2007.

Filho, C. de O. A.; Fonseca, L. M. G. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal, Brasil, **Anais...** Natal 25-30 abril 2009: INPE. Artigos p. 3151-3158. CD-ROM, *On-line*. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2009/>. Acesso em: 12 ago. 2011.

Florenzano, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. São Paulo 2007, 101p.

Gonçales, V. G.; Giampá, C. E. Q. Água Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos. São Paulo: Ed. Signus, 2006, 502p.

Hansen, M. A. F. Origem, quantidade e qualidade da água. **Revista Textual**. V.1. n.4. Ed. MídiaGraphic, Porto Alegre, p. 19-25,2004.

IBGE – (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) Censo Populacional, Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RS2010.pdf. Acesso em 15 de Ago. 2011.

Lousada, E. O.; Campos, J. E. G. Integração de dados Geológicos, Geofísicos e de Sensores Remoto para locação de Poços Tubulares em Aquífero Fraturado. São Paulo, UNESP, **Geociência**, v. 24, n. 2, p. 173-180, 2005.

Madrucci, V.; Taioli, F.; Araújo, C. C. Análise integrada de dados de sensoriamento remoto, geologia e geofísica no estudo de aquífero fraturado, Lindóia - SP. **Revista Brasileira de Geofísica**. [*online*]. 2005, v.23, n.4, p. 437-451. ISSN 0102-261X, Acesso em 25 abri. 2011.

Moreira, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 2° edição 2004. 307 p.

Nardi, L. V. S., Bitencourt, M. de F. Geologia, Petrologia e Geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociência**. v.19, n.2, 1989.

Novo, E. M. L. de M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. São Paulo: Ed. Blucher, 2008. 362p.

Pinéo, T. R. G. Integração de dados Geofísicos, Geológicos e de Sensores Remotos Aplicados à Prospecção de Água Subterrânea em meio Fissural (Distrito de Juá, Irauçuba/CE). Fortaleza: UFC, 2005. 126p.

Sausen, T. M., Lacruz, M. S. P., Júnior, M. de A. S., Saito, L. Y. **Mapeamento dos municípios do Rio Grande do Sul atingidos por estiagem durante o período de 2003 a 2006**. INPE - CRS (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Centro Regional Sul), Núcleo de Pesquisa e Aplicação de Geotecnologias em Desastres Naturais e Eventos Extremos. Relatório Coordenado pela Dra. Tania Maria Sausen e Elaboração da Dra. María Silvia PardiLacruz, Dr. Manoel de Araujo Sousa Júnior e Estagiária. Luciane Yumie Sato. Santa Maria – RS, 2007. 53p.

SPRING: "Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" Camara G.; Souza R.C.M.; Freitas U. M.; Garrido J. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3. p. 395-403, 1996.

Trevisol, A. **Caracterização Estrutural do Sistema de Falhas Santa Bárbara - Região de Caçapava do Sul - Lavras do Sul**. 2007. Dissertação (mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia. 2007.