

SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NA PESQUISA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA QUADRICULA DE SALGUEIRO-PE

Pedro Augusto dos S. Pfaltzgraff¹; Carlos Eugênio da S. Arraes¹; Jorge L. F. de Miranda¹

Resumo - O presente trabalho mostra os resultados da primeira etapa dos estudos realizados, na área da quadricula SC-24-V-B-III, Salgueiro (8°00'00''S ,8°30'00''S e 39°00'00''W, 39°30'00''W), utilizando-se de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com o objetivo de se indicarem áreas mais propícias à ocorrência de água subterrânea, no ambiente geológico de rochas cristalinas, cujos resultados possam ser extrapolados para outras regiões de características similares.

Como resultados, foram obtidos até o momento, os mapas de fraturas da área, drenagem, estradas, pontos de acumulação de águas e uso do solo, atualizados a partir de imagens de satélite; mapa de poços, sondagens geotécnicas, mapa de relevo e interpretação dos binômios poço produtivo x fraturamento e poço produtivo x aluviões. Além disso, os trabalhos objetivaram também a geração de um banco de dados da área na forma de um SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Abstract - The present work presents the results of the first stage of a study performed in the area of the Salgueiro Sheet (SC-24-V-B-III, between 8o00'00'', 8o30'00' S and 39o00'00'', 39o 30'00'' W). The tools of remote sensing and geoprocessing have being used, with the objective of indicating more favorable areas to the occurrence of underground water, in the geological ambience of crystalline rocks, whose results could be extrapolated for other areas of similar characteristics.

Until the moment, as a result, the maps of fractures of the area, drainage, highways, points of accumulation of waters and use of the soil, were obtained, updated from satellite images; also maps of wells, geotecnic drilling maps, relief map and interpretation of the binomials productive well x fratures, and productive well x alluvia. Besides, these works also aimed at the generation of a database of the area, in the form of a GIS (Geographical Information System).

Palavras chave: Salgueiro; Sensoriamento Remoto

¹ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM - Gerência de Recursos Hídricos e Gestão Territorial; Endereço: Avenida Sul, 2291 CEP: 50.770-011, Recife-PE; Brasil; Fone: (081) 3428.6245; Fax (081) 3447.4467; E-mail: gehitepe@fisepe.pe.gov.br

LOCALIZAÇÃO

A área localiza-se no oeste do estado de Pernambuco ($8^{\circ}00'00''$ S, $8^{\circ}30'00''$ S e $39^{\circ}00'00''$ W, $39^{\circ}30'00''$ W) e abrange partes das regiões sócio econômicas denominadas de meso - regiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco Pernambucano, cujos núcleos populacionais mais importantes são as cidades de Salgueiro e de Cabrobó.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos da área foram divididos em três etapas. A primeira, aqui apresentada, constou da caracterização da área e de sua potencialidade hidrogeológica a partir de métodos indiretos como sensoriamento remoto e informações bibliográficas, o que possibilitou a criação de um banco de dados na forma de um SIG (Sistema de Informações Geográficas), para a área com todas as informações levantadas.

A segunda etapa, deverá constar de trabalhos de campo para aferição das informações levantadas na etapa anterior. Já a terceira etapa deverá contemplar o cruzamento das informações coletadas, tanto pelos métodos diretos como indiretos, para geração de um mapa de favorabilidade a ocorrência de água subterrânea.

No desenvolvimento dos trabalhos foram utilizados os softwares ENVI 3.2 (para tratamento das imagens de satélites) e Spans 7.1 para geração do SIG.

O trabalho iniciou-se com o recorte e georreferenciamento de parte da imagem de satélite LANDSAT 5 que cobre a quadricula de Salgueiro, seguindo-se a atualização de alguns elementos da planimetria já que as cartas topográficas, editadas pela SUDENE, na escala 1:100.000 disponíveis são de 1972 e foram construídas a partir de fotos aéreas de 1965. Para tal, utilizou-se o ENVI 3.2 (Figura 1).

Foi utilizada uma série de variações na composição colorida (falsa cor) da imagem, no espaço RGB (composição de cores vermelho, verde e azul), para melhor definição dos elementos da planimetria a serem atualizados bem como outros a serem tratados (geologia, vegetação, relevo, drenagens e depósitos de água).

No caso das drenagens e pontos de acumulação de água e geologia, as composições principais utilizadas foram 7R, 5G,4B; relevo 5R, 4G, 1B e para as rodovias asfaltadas e estradas de terra 7R, 5B, 1G e 5R, 4G, 1B (respectivamente). Com contraste gaussiano e filtro 14 ou 18.

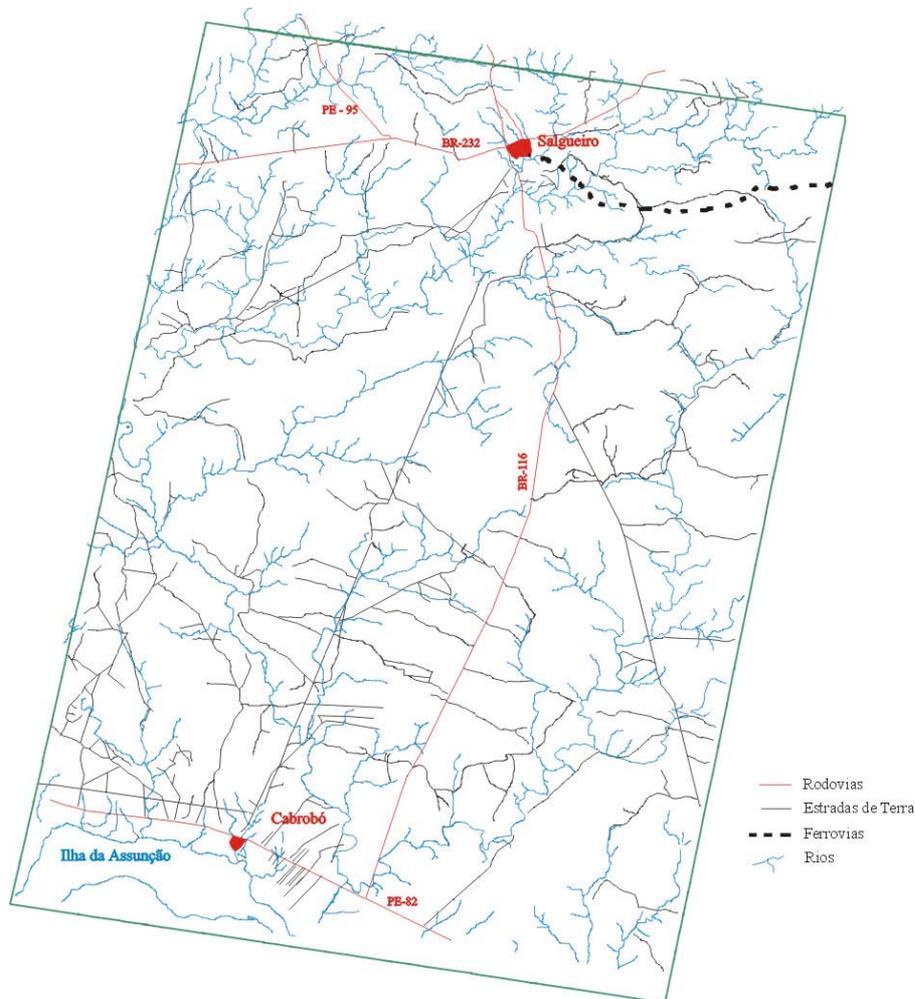


Figura 1: Atualização da Planimetria da Folha Salgueiro

Para auxiliar na definição das estruturas geológicas e gerar o mapa de fraturas, foram utilizados filtros direcionais do ENVI, e ainda, imagens de radar na escala 1:100.000 (analógicas) e fotos aéreas na escala 1:70.000.

Para auxílio na confecção do mapa de uso do solo, foram utilizadas as ferramentas de classificação supervisionada e não supervisionada, parte do software ENVI 3.2, não obtendo-se entretanto, os resultados esperados com o uso dessas ferramentas. Todos os resultados obtidos foram exportados para o SPANS, gerando um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A seguir, iniciou-se o cruzamento dos dados levantados pelos sensores remotos (estruturas tectônicas, morfologia do terreno, densidade de fratura, cruzamento de fraturas e uso do solo), com a bibliografia referente a: geologia, cobertura vegetal, espessura de solo, sondagens geotécnicas e poços tubulares da área.

ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Clima

A área apresenta clima semi-árido com chuvas escassas e irregulares, com grande variação no tempo, no volume e no espaço. Segundo Moraes (no prelo [1]), o índice de aridez para Salgueiro é de 68,36 e para Cabrobó 70,26 (calculado segundo o método de Thorntwaite e Mather). O clima da região caracteriza-se ainda por um longo período de seca de duração de 7 a 8 meses, com período de chuva situando-se entre os meses de novembro a abril, com índice pluviométrico variando entre 500 e 600 mm ao ano (com mínima de 470 mm, próximo ao São Francisco), apresenta temperatura média anual de 26C°, amplitude térmica inferior a 5C° e variações diárias de 12C° (Leal, 1971 [2]).

Vegetação

A vegetação típica da área é a caatinga hiperxerófila (Brasil, 1973 [3]), sendo relativamente densa, arbustiva ou arbórea de pequeno porte. Em algumas áreas mais baixas e de condições climáticas mais adversas, próximas ao rio São Francisco, essa vegetação apresenta-se esparsa e de pequeno porte.

Os tipos mais comuns dessa formação vegetal são as xerófilas e bromeliáceas, destacando-se a catingueira, a favela, aroeira, quixabeira, macambira e as cactáceas como xiquexique, mandacaru e coroa de frade.

Geomorfologia

A região está situada dentro da unidade geomorfológica denominada Depressão Periférica do São Francisco (SUDENE, 1973[4]), onde está caracterizada a superfície de aplainamento Velhas, esculpida por um sistema de erosão semi-árido (chuvas de pequeno volume anual e concentradas em curta estação chuvosa possuindo características de clima semi-árido com alto índice de aridez).

Trata-se de uma área com cotas que variam de 300 a 600 metros, onde predominam extensas superfícies pediplanadas, de relevo suave ondulado a ondulado (Foto 1), cujas declividades são baixas (1-3%), com caimento para sul. Recobrem estas áreas, extensas coberturas de cascalhos e seixos (principalmente de quartzo), constituindo um pavimento desértico, que capeia solos de pequena espessura.

Cortando estes pediplanos ocorrem vários “inselbergs” e serras alongadas, formadas por rochas cristalinas, onde as cotas podem passar dos 600 metros e a declividade chegar a 45%, com a presença de estreita cobertura de talus em seu sopé. A orientação dessas serras é principalmente SW-NE na parte norte da quadricula e NW-SE na sua parte sul. Estas orientações foram impostas por um tectônica de idade neoproterozóica (560 m.a), que gerou também a mega zona de cisalhamento denominada de Lineamento Pernambuco.



Foto 1: Vista do relevo nas proximidades da cidade de Salgueiro

A hidrografia está representada pelos rios da sub-bacia do Terra Nova, afluente da margem esquerda do São Francisco, que drenam suas águas para o sul da área. Como principais afluentes do Terra Nova encontram-se o riacho Salgueiro e o rio Ouricuri (intermitentes).

A grande maioria dos cursos d'água da região são temporários e seus vales são abertos com a presença de fina cobertura de sedimentos aluvionares. Na parte mais ao norte da quadricula, entretanto, os cursos d'água são mais encaixados e com pequenos depósitos aluvionares. Em vários trechos dos rios da área foram construídos barramentos, num total de mais de uma centena de reservatórios bem visíveis nas imagens de satélite.

A maioria dos cursos d'água, principalmente na parte sul da quadricula, apresentam controle estrutural, sendo bons exemplos o rio Terra Nova e o riacho Salgueiro.

A densidade de drenagem é maior na parte norte da quadricula, onde corre sobre rochas metamórficas xistosas (xistos), enquanto ao sul a drenagem torna-se menos densa e com forte controle estrutural, correndo sobre rochas cristalinas mais compactas e menos fraturadas como granitos, gnaisses e migmatitos.

GEOLOGIA E TECTÔNICA

A região dos estudos está situada geotectonicamente dentro da Província Borborema, definida como um cinturão orogênico de idade meso/neoproterozóica, que se estende por grande parte do nordeste brasileiro.

Dentro desta província, a quadricula de Salgueiro ocupa áreas classificadas como pertencentes aos domínios tectono-estratigráficos Transversal (parte norte) e Externo (parte sul), limitados pelo Lineamento Pernambuco (Gomes, 2001 [4]).

O substrato geológico da área está composto por rochas metamórficas de idade mesoproterozóicas, compostos basicamente por gnaisses, migmatitos e xistos que afloram na parte sul da quadricula.

Em sua parte norte, a área está constituída basicamente por rochas metamórficas xistosas de baixo a médio grau metamórfico (xistos e filitos), muito deformadas e fraturadas, cujos principais tipos litológicos são muscovita-biotita-granada xistos, biotita-quartzoxistos, quartzoxistos de granulação média a fina, cor cinza a cinza escura e, subordinadamente, outras rochas metassedimentares de composição calcossilicática, anfíbolítica, quartzítica, arcoseana e algumas metavulcânicas.

Dividindo praticamente ao meio a folha Salgueiro, encontra-se o Lineamento Pernambuco, uma mega zona de cisalhamento, com direção NW-SE e largura aproximada de 5 km, e idade neoproterozóica (\pm 560 m.a.).

Uma outra estrutura tectônica também importante na área, além do Lineamento Pernambuco, é a zona de cisalhamento do Boi Morto, com direção NE-SW, formada por cataclasitos gerados por deslocamento cizalhante, predominantemente horizontal e sub-horizontal (Sial, 1983 [5]).

Cortam as litologias metamórficas ao norte da quadricula os corpos intrusivos de composição granítica e sienítica, pouco fraturados e de forma menos expressiva, encontram-se as aluviões que ocorrem preenchendo a calha da maioria dos rios e córregos da área dos estudos.

Os processos tectônicos atuantes na área são de características dúctil-rúptil, com estilos de falhamentos predominantes de empurrão e transcorrentes, gerando um nível extremo de deformação nas rochas pré-existentes.

A última fase de deformação na região apresenta caráter rúptil e atuou após a intrusão dos diques que cortam os corpos granitóides pós-tectônicos, (Silva Filho, 1990 [6]).

HIDROGEOLOGIA

Estão presentes na área duas unidades hidrogeológicas. A primeira é representada pelo aquífero fissural, encontrado nas rochas de constituição cristalina, e a segunda unidade representada pelo aquífero aluvionar.

Aqüífero Fissural

O aquífero fissural é assim denominado para definir as discontinuidades litológicas ou estruturais das rochas cristalinas capazes de armazenar de água. Mesmo constituindo um meio impermeável, heterogêneo e anisotrópico, de porosidade primária muito baixa, o armazenamento da água neste meio se dá através de sua porosidade secundária representada principalmente pelas fraturas. Os fatores que controlam o armazenamento e a produção de água em terrenos cristalinos, são em linhas gerais, o arranjo estrutural, o número de fraturas, as dimensões das fraturas, o número de interconexões, o clima (contribuinte da formação dos solos), o tipo de rocha e a proximidade com as áreas de recarga.

Em geral as fraturas são classificadas como abertas, que são aquelas com maior potencial hídrico, e as fechadas. As abertas constituem o resultado de zonas de alívio, preenchidas ou não por material permeável de alteração ou transportado. As fechadas, em geral, estão preenchidas por diques de rochas ígneas, materiais sedimentares, ou de alteração impermeáveis.

Na área enfocada, onde os tipos litológicos são constituídos em sua maior parte por rochas cristalinas e o clima é semi-árido, não há o desenvolvimento de um manto de intemperismo que propicie condições ideais de armazenamento e transmissão para as zonas fraturadas.

No ambiente de rochas cristalinas, as fraturas estão relacionadas aos acontecimentos tectônicos ocorridos na área, cuja percolação e armazenamento da água explotável constituem, segundo Jardim de Sá, 2000 [7], fenômenos geológicos recentes e localizados em nível crustal muito raso. Ainda segundo o mesmo autor, o potencial hídrico das fraturas neste meio, entre outros fatores anteriormente citados, é função do modo de reativação (cinemática) neotectônica dessas fraturas.

A última fase de deformação na região, bem documentada, apresenta caráter rúptil, e atuou após a intrusão dos diques que cortam os corpos granitoides pós-tectônicos.

No que se refere à captação de água na área, esta se dá através de poços tubulares com profundidades entre 45 e 60 metros e, em geral, possuem resíduo seco médio a alto, havendo portanto muitos poços com índices de potabilidade para consumo humano fora dos padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS). Atualmente, resalta-se que, com a aplicação dos dessalinizadores, esta água está sendo aplicada mais freqüentemente para o abastecimento humano.

A realimentação desses aquíferos se dá diretamente pelas chuvas e localmente através do material aluvionar e de cobertura.

Observa-se que os poços com melhor produção d'água estão nas áreas de fraturas com maiores aberturas ou no cruzamento de fraturas, e ainda quando há uma contribuição da água das aluviões para essas fraturas.

Segundo a SECTMA (1998[8]), na porção sul do Lineamento Pernambuco, área de predominância das rochas cristalinas, existem cerca de noventa e cinco (95) poços catalogados, e ao sul do referido lineamento cerca dezoito (19) poços. Observa-se que aqueles poços situados ao norte desta mega estrutura tectônica apresentam-se desde secos até com uma vazão máxima de 12,57 m³/h, enquanto que, nos localizados ao sul apresentam vazão máxima de 8 m³/h, caracterizando vazões mais modestas.

A locação de poços no meio fissural ainda é muito complexa, porém o uso de novas ferramentas tecnológicas podem contribuir para diminuição dos insucessos, como a perfuração de poços secos.

A imagem de satélite da área realçou bem as estruturas tectônicas, e serviu para que um grande número de fraturas fossem detectadas e analisadas, facilitando a correlação entre as fraturas abertas e fechadas e o seu relacionamento com as vazões de poços existentes no domínio desses terrenos.

Aqüífero Aluvionar

Este aquífero é constituído pelos sedimentos encontrados na calha dos rios e riachos que drenam a área em estudo e são formados, em geral, de areias finas siltsosas e cascalhos. As espessuras desse material é variável, chegando excepcionalmente até 9,0 metros (CPRM,1994. [9]). A água desse aquífero encontra-se na zona saturada sendo captada através de poços tipo amazonas ou cacimbas. A bibliografia consultada não forneceu dados suficientes para que se pudesse chegar a relacionar os dados hidrodinâmicos e a média de vazões dos poços neste domínio dos sedimentos aluvionares. Considera-se no presente trabalho que provavelmente ocorrem equívocos nas informações e coordenadas geográficas encontradas no cadastro desses poços.

A imagem de satélite forneceu uma boa indicação das aluviões, podendo-se sugerir as áreas que possam ter melhor potencial de prospecção para captação de água subterrânea nesse ambiente.

ESTRUTURAS

A observação das imagens de satélite, fotos aéreas e imagens de radar, permitiram a construção de um mapa de fraturas (Figura 2). Foram detectadas mais de uma centena de fraturas onde, a partir da construção de um diagrama de roseta, foram definidas duas famílias principais e duas secundárias de fraturamentos. Entre as principais uma apresenta direção NE-SW e a outra direção N-NW. Entre as secundárias uma família de fraturamentos, tem direção E-W e, a menos expressivas de todas tem direção N-S. Foram notadas também, duas zonas de cisalhamento (já conhecidas da bibliografia), que são o Lineamento Pernambuco, de direção NW-SW e a zona de cisalhamento do Boi Morto, uma ramificação do Lineamento Pernambuco, com direção geral NE-

SW. Foram levantadas também mais de uma centena de interseções de fraturas, sendo que em varias delas havia algum poço produtivo situado sobre uma das fraturas que se intersectavam.



Figura 2: Mapa de Fraturas da Área dos Estudos

Observou-se ainda, que nas interseções das fraturas há poços com vazões das mais variadas, desde 0,1 m³/h até o poço da Fazenda Barreiro Preto, no município de Salgueiro, cuja vazão é de 12 m³/h.

A direção de fraturamentos N – NW, apresenta o maior número de poços produtivos situados sobre ela, sendo aparentemente a direção de alívio dos esforços tectônicos ($\delta 2$), similar aos encontrados na área vizinha do município de Custódia, como definido por Amaral, 2001[10]. Enquanto que o número de poços secos é maior naquelas áreas onde a locação destes se deu sobre fraturas com direção NE.

Quando observam-se as estatísticas dos fraturamentos, nota-se claramente que as litologias mais afetadas por essas estruturas, e com o maior número de poços produtivos, são os xistos, na parte norte da quadricula e os gnaisses ao sul. Já nas rochas graníticas, onde a grande maioria dos poços apresentam-se secos as litologias encontram-se menos fraturadas.

CONCLUSÕES

Esses trabalhos desenvolvidos até o momento, mostram uma tendência para os esforços de alívio tectônico ($\delta 2$) na direção NW, como também sugere o grande número de poços produtivos locados sobre fraturas com essa direção bem como, pelas pequenas estruturas similares a grabens (zonas de alívio de esforços), coincidentes com a citada direção, vistas nas fotos aéreas.

Na parte da folha situada ao sul do Lineamento Pernambuco, embora contenha menos poços perfurados que na parte norte, a esmagadora maioria dos poços produtivos apresentam-se sobre fraturas de direção N-NW

A continuidade dos estudos deve levar a geração de um mapa de favorabilidade que propiciará uma maior precisão na locação de poços. Entretanto, para que isso ocorra, com a geração de produtos de maior confiabilidade é necessário à realização de levantamentos de campo para um melhor conhecimento dos aspectos geoestruturais da área, associado ao uso de ferramentas de sensoriamento remoto como fotos aéreas ou, imagens de satélite em escala de maior detalhe, e também com o reconhecimento geofísico pelo método de resistividade elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, Cristiano de Andrade Contexto morfoestrutural e hidrogeologia da Região de -Caiçara-Samambaia (Custódia-Pe) In: ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 12, 2001, Olinda, / SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 4, 2001. *Anais*. Recife: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2001. 605p. p.295-302.[10]
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL .BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO REGIONAL; BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA,. *Projeto Rio São Francisco*. Derivação de águas do rio São Francisco para regiões semi-áridas dos Estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Trecho São Francisco-Jati. Projeto básico- estudos básicos. V.IX Geologia e geotécnica. V.IX.4 Barragens de Travessia. Brasília: CPRM/Ministério da Integração Regional/Ministério das Minas e Energia, 1994. v.9.4 [9]
- GOMES, Hermanilton Azevedo *Geologia e recursos minerais do Estado de Pernambuco- Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado de Pernambuco*. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001. 198p. 2 mapas escala 1:500.000 [4]
- JARDIM DE SÁ, Emmanuel Ferraz Fraturamento no embasamento cristalino do Nordeste do Brasil: cronologia da deformação frágil, reativação neotectônica e implicações hidrogeológicas. CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS

- SUBTERRÂNEAS, 1, 2000, Fortaleza. **Resumos**. Fortaleza: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2000. 389p. p.13 [7]
- LEAL, Antonio de Souza **Inventário hidrogeológico básico do nordeste - Folha 19 – Aracaju NO**. Recife: SUDENE, 1970. 242p. (Brasil SUDENE. Série Hidrogeologia, 33)[2]
- MORAIS, Franklin de **Aplicação de índices do balanço hídrico para a caracterização climática do Estado de Pernambuco** Recife: CPRM, 2002. (Em editoração) [1]
- SECTMA-SECRETARIA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DE PERNAMBUCO-, [CD ROM] Sistema de Informações de Recursos Hídricos-SIRH.Recife:1998. Disponível em 1 CD.[8]
- SIAL, A. N; BRITO NEVES, B. B. de; BEURLIN, N; MELO, P. G.; PESSOA, R. J. R. **Projeto extremo Oeste de Pernambuco – quadrícula de Salgueiro e partes de Chorochó e Parnamirim. Relatório final**. Recife: DNPM / UFPE, 1983. 51p. [5]
- SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P. Geologia das rochas ultrapotássicas da Região de Salgueiro, PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal, Anais. Natal: SBG, 1990. 6v. il. v.4 p. 1752-1759 [6]
- SUDENE .BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA; BRASIL **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do estado de Pernambuco**. Recife: MA/CONTAP/USAID/ETA, 1973. 2v. (Série Pedologia, 14) [3]