



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

KELFRANK FERREIRA DA SILVA

**ANÁLISE DOS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS APLICADOS A
LOCAÇÃO DE POÇOS EM TERRENOS CRISTALINOS NO
MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM, CEARÁ**

FORTALEZA - CEARÁ
2013

KELFRANK FERREIRA DA SILVA

ANÁLISE DOS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS APLICADOS A LOCAÇÃO DE
POÇOS EM TERRENOS CRISTALINOS NO MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM,
CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geologia.

Linha de Pesquisa: Hidrogeologia e Gestão Hidro-Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

Coorientador: Prof. Dr. Christiano Magini

FORTALEZA
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

S58a Silva, Kelfrank Ferreira.

Análise dos Aspectos hidrogeológicos aplicados a locação de poços em terrenos cristalinos no município de Quixeramobim, Ceará / Kelfrank Ferreira da Silva. – 2013.

107 f.: il. color., enc. ; 30cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2013.

Área de Concentração: Hidrogeologia e Gestão Hidro-Ambiental.

Orientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

Coorientação: Prof. Dr. Christiano Magini.

1. Poços. 2. Hidrogeologia. 3. Quixeramobim (CE). I. Título.

CDD551

KELFRANK FERREIRA DA SILVA

**ANÁLISE DOS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS APLICADOS A LOCAÇÃO
DE POÇOS EM TERRENOS CRISTALINOS NO MUNICÍPIO DE
QUIXERAMOBIM, CEARÁ**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geologia.

Linha de Pesquisa: Hidrogeologia e Gestão Hidro-Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

Coorientador: Prof. Dr. Christiano Magini

Aprovada em 01/11/2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^a. Maria da Conceição Rabelo Gomes
GAIA - Gestão, Análises e Investigações das Águas Ltda

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, DEGEO/CC/UFC, pela orientação, paciência e muitos conselhos que ajudaram na finalização deste trabalho.

A Doutora Maria da Conceição Rabelo Gomes, GAIA – Gestão, Análise e Investigação das Águas Ltda, pelas grandes considerações feitas para melhoria deste trabalho.

Ao Prof. Dr. César Ulisses Veríssimo, DEGEO/CC/UFC, pelas considerações feitas a este trabalho e pela força dada para conclusão do mesmo.

Ao Departamento de Geologia/CC/UFC, em especial aos professores que contribuíram não somente para este trabalho, mas para toda a minha formação acadêmica.

A todos os colegas do curso pelos anos maravilhosos compartilhados e por todo o apoio. Especialmente aos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho, entre eles: Luiz Eduardo (Dudu) e Rodrigo pela força que me deram para conclusão deste trabalho, e Clístenes pelas dicas de ArcGIS.

Aos meus colegas de pós-graduação Elenilza, Suely, Queilane, Magno, Irla, Cleison, Jean, Jefferson, Vanusa, Gonzaga, Zulene e João Paulo, obrigado por tudo.

A todos, o meu muito obrigado!

RESUMO

Esta dissertação trata da análise dos aspectos hidrogeológicos que influenciam a vazão de quatorze poços tubulares, todos situados no município de Quixeramobim, Estado do Ceará. As baixas vazões dos poços no município são, muitas vezes, reflexos das características geoambientais regionais, tais como: litologia, baixo índice pluviométrico e pequena espessura do manto de alteração. Associado a isso existe um grande número de poços construídos cujas locações não levaram em conta as condições favoráveis da ocorrência de água subterrânea o que reflete nas baixas vazões registradas no Banco de Dados do SIAGAS. Foi realizada uma análise quantitativa baseada nos poços do SIAGAS, na interpretação de lineamentos a partir da imagem SRTM, nos mapas temáticos de litologia, densidade de drenagem e lineamentos, hipsometria e na análise de campo. Os resultados mostraram que a maioria dos poços construídos (52,05%) no município possui vazão inferior a 2,0m³/h. O nível estático tem profundidade variável com 42,86% menores que 5,0 metros, 30,61% com profundidades entre 5,0 e 10,0m e 26,53% acima de 10,0m. A profundidade do nível dinâmico também é variável, com classe modal para o intervalo de 20,0m a 28,0m. A capacidade específica da maioria dos poços (69,57%) é inferior a 0,2 [(m³/h)/m]. A natureza dos poços é predominantemente (92%) tubular e apenas 8% são amazonas. A situação dos poços mostram que a maioria (33%) estão equipados, 21% fechados, 19% sem dados e 27% estão abandonados, secos ou não instalados. Apenas 14% dos poços são direcionados para o abastecimento doméstico e 5% para abastecimento público. A profundidade dos poços é, em sua maioria, superior a 50,0m. Os lineamentos interpretados coincidem com os dados de campo (foliação e fraturas da rocha) e auxiliam na localização de juntas mestras que muitas vezes são responsáveis pelas altas vazões dos poços em terrenos cristalinos. O uso do SIG se mostrou pouco eficaz, onde a integração dos dados de litologia *versus* vazão não deu bons resultados (poços com altas e baixas vazões estão localizados no mesmo litotipo); a integração dos dados de elevação com dados de vazão mostraram que os poços com baixa vazão estão situados em zonas com cotas altimétricas mais rebaixadas; a integração da densidade de drenagem *versus* vazão mostrou resultados mais esperados, com poços de altas vazões posicionados em zonas de alta densidade de drenagem e poços de baixa vazão, em sua maioria, posicionados em zona de baixa a média de densidade de drenagem, e; a densidade de lineamentos *versus* vazão mostrou que existem poços com baixa e alta vazão situados em zonas de alta densidade de lineamentos. Com a análise dos aspectos hidrogeológicos foi possível realizar novas locações para os poços 01, 02, 04, 05, 07, 09, 11, 12 e 14, não sendo possível para os poços 03 e 08. Os poços 06, 10 e 13, com vazão acima de 5m³/h, estão posicionados em áreas onde coexistem a drenagem superficial e fraturas, justificando suas vazões. A locação de poços nesse município deve levar em consideração a coexistência da drenagem superficial com as fraturas, principalmente de direção E-W, ou subparalelas a elas, por se tratarem de fraturamentos abertos. Caso essa situação não ocorra, a coexistência da drenagem com o manto de alteração relativamente espesso seria uma alternativa.

Palavras Chaves: locação de poços, hidrogeologia, cristalino de Quixeramobim.

ABSTRACT

The paper presents the analysis of hydrogeological aspects that influence the flow of fourteen wells located in the municipality of Quixeramobim, state of Ceará. Low flow of wells in the county are reflections of regional characteristics, such as lithology, low rainfall and small thickness of the mantle of change. Associated with this there is a large number of wells constructed whose leases did not take into account the favorable conditions for the occurrence of groundwater which reflects the low flows recorded in the database SIAGAS. We performed a quantitative analysis based on wells Database registered in SIAGAS, the interpretation of lineaments from SRTM image, thematic maps of lithology, lineaments and drainage density, hypsometry and field analysis. The results showed that most of the wells constructed in city has the yield lower $2.0 \text{ m}^3/\text{h}$. The static level is variable. With 42.86% wells below 5.0 meters, 30.61% of wells depths of 5.0 to 10.0 meters and 26.53% above of 10.0 meters. The depth of the dynamic level is also variable, it has modal class for the interval from 20.0 the 28.0 meters. The specific capacity of most wells (69.57%) is less than $0.2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. The nature of the wells is predominantly tubular (92%) and only 8% are amazons. The situation of the wells shows that the majority (33%) are equipped, 21% closed, 19% no data and 27% are abandoned, dry or not installed. Only 14% wells are for domestic supply and 5% for public supply. The depth of the wells are mostly higher than 50.0m. The interpreted lineaments coincide with the field data (foliation and fractures rock) and assist in locating master joints that are often responsible for the high yield rates of wells in crystalline terrains. The use of GIS proved somewhat effective: data integration lithology versus yield have not worked (wells with high and low yields are leased in the same lithotype); the integration of elevation data with yield data showed that the wells with low yield are located in areas with altitudes more recessed; the drainage density versus yield showed results most anticipated. High yield wells are positioned in areas with high drainage density and low yield wells, mostly, are positioned in an area of low to medium drainage density; the lineaments density versus yield showed that there are wells with low and high yield situated in areas of high lineaments density. With the investigation of the aspects hydrogeological was possible to make a new lease for the wells 01, 02, 04, 05, 07, 09, 11, 12 and 14. Could not to make new lease for the wells 03 and 08. The wells 06, 10 and 13, with yield above $5 \text{ m}^3/\text{h}$ are positioned in areas that coexist surface drainage and fractures. The location of wells that municipality must take into account the coexistence of surface drainage with fractures, especially with E-W direction, or subparallel to them. Case such situation does not occur, the coexistence of drainage with relatively thick weathered mantle would be another alternative.

Keywords: Leasing of wells, hydrogeology, crystalline of Quixeramobim.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo	10
Figura 02 – Esboço geológico regional da porção setentrional da Província Borborema e dos arredores do lineamento Patos. LTB = lineamento Transbrasiliano; ZCSP = Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; ZCPa = Zona de cisalhamento Patos; CC = Complexo Cruzeta; MSJC = Maciço São José do Campestre; CG = Complexo Granjeiro (modificado de Van Schmus et al, 1995).....	17
Figura 03 – Falhas, eixos de tensões e regimes cinemáticos. Por simplicidade foram representadas apenas as juntas de distensão e as falhas em cada caso. O eixo σ_2 é sempre ortogonal ao demais. Por convenção, σ_1 representa regime de compressão e σ_3 o regime de tração.....	21
Figura 04 – Mapa geológico do município de Quixeramobim - Ceará.	24
Figura 05 – Distribuição espacial da precipitação média anual no estado do Ceará (mm/ano).	25
Figura 06 – Perfil esquemático com ilustração das diferentes formas de relevo (landformes) existentes nos terrenos cristalinos (Singhal e Gupta, 1999).	27
Figura 07 – Principais afluentes e municípios que são drenados pela Sub-bacia do Banabuiú.....	29
Figura 08 – Padrão de drenagem predominante no município de Quixeramobim - Ceará.	31
Figura 09 – Principais sistemas aquíferos, distribuição espacial e tipo de poços na Sub-bacia do Banabuiú - Ceará.....	32
Figura 10 – Vazão dos poços de Quixeramobim - Ceará.....	33
Figura 11 – Profundidade do nível estático dos poços de Quixeramobim - Ceará.....	34
Figura 12 – Profundidade do nível dinâmico dos poços de Quixeramobim - Ceará.	34
Figura 13 – Valores da capacidade específica dos poços de Quixeramobim - Ceará.....	35
Figura 14 – Profundidade dos poços de Quixeramobim - Ceará.....	35
Figura 15: Natureza, situação e o uso dos poços no município de Quixeramobim. a) natureza; b) situação e c) uso dos poços.	36
Figura 16 – Localização dos poços no município de Quixeramobim - Ceará.	37
Figura 17 – Diminuição da produtividade dos poços em função da profundidade em rochas cristalinas no Leste dos Estados Unidos.	38
Figura 18 – Frequência de entrada d'água no município de Quixeramobim- Ceará.....	39
Figura 19 – Mapa de lineamentos da área de estudo.	44
Figura 20 – Mapa litológico da área de estudo.....	47
Figura 21 – Mapa hipsométrico da área de estudo.	48
Figura 22 – Mapa de densidade de drenagem da área de estudo.....	49
Figura 23 – Mapa de densidade de lineamentos.....	50
Figura 24 – Modelo Riacho-Fenda. Observa-se que as fraturas são congruentes com a rede de drenagem, tanto em superfície como em subsuperfície.....	52
Figura 25 – Barragem subterrânea com finalidade de maior retenção d'água no solo, dando possibilidades para recarga das fraturas.....	52
Figura 26 – Modelo Elúvio-Aluvionar. Observa-se que direção das drenagens não corresponde com as direções das fraturas em superfície, mas coincidem com a foliação da rocha.....	53
Figura 27 – Modelo Bolsões ou Câmara de Intemperismo. Em superfície, as regiões densamente fraturadas, o intemperismo é mais atuante, aumentando a porosidade da rocha (a). Modelo caracterizado por uma diferença de litologia, onde uma litologia é mais susceptível ao intemperismo do que a outra, aumentando a porosidade (b).	54

Figura 28 – Mapa de localização do poço (a). Vista geral da Fazenda Ramalhete, local onde foi construído o poço (b). Gnaisse com abertura entre os planos da foliação (c) e Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).	56
Figura 29 – Mapa de localização do poço com indicação de uma nova locação (a). Vista geral do local onde foi construído o poço (b). Gnaisses com presença de fraturas (c) e Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).	58
Figura 30 – Mapa de localização do poço (a). Gnaisses com abertura entre os planos de foliação (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c) e Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).	59
Figura 31 – Mapa de localização do poço (a). Vista geral do local onde foi construído o poço 04 (b). O poço 05 possui um toco de madeira com objetivo de vedar o furo (c) e Perfis esquemáticos com indicação dos dois poços construídos e com indicação do melhor local para construção do poço (d).	61
Figura 32 – Mapa de localização do poço (a). Anfibólito fraturado e intemperizado (b). Visão geral do local onde foi construído o poço (c); Perfil esquemático com indicação do poço construído (d).	62
Figura 33 – Mapa de localização do poço (a). Visão geral do local onde foi construído o poço (b). Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (c).	65
Figura 34 – Mapa de localização do poço (a). Zona quartzosa (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c) e perfil esquemático com indicação do poço construído (d).	66
Figura 35 – Mapa de localização do poço (a). Biotita-gnaisse com mergulho da foliação subvertical (b). Vista geral do local onde foi construído o poço 09 (c) perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).	67
Figura 36 – Mapa de localização do poço (a); Biotita-gnaisse migmatito localmente dobrado (b); Vista geral do local onde foi construído o poço (c), e perfil esquemático com indicação do local onde o poço foi construído (d).	70
Figura 37 – Mapa de localização do poço (a). Gnaisse com intercalação de anfibólito (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c), e perfil esquemático com indicação do melhor para construção do poço (d).	71
Figura 38 – Mapa de localização do poço (a); Gnaisse com intercalação de anfibólito (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c), e perfil esquemático com indicação do melhor para construção do poço (d).	72
Figura 39 – Mapa de localização dos poços (a). Situação do poço 13 (b). Vista geral do local onde foi construído o poço 14 (c) e perfil esquemático com indicação do local onde foi construído os poços 13 e 14 (d).	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Coordenadas em UTM da área de pesquisa. Sistema de Coordenadas SAD 69, Zona 24 Sul.....	10
Quadro 02 – Relação entre classes de elevação e vazão dos poços.....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.2 Justificativa e Relevância do Tema	8
1.3 Objetivos	9
1.4 Localização e acesso	9
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	11
<i>1.5.1 Levantamento bibliográfico</i>	11
<i>1.5.2 Cadastro de poços</i>	11
<i>1.5.3 Base cartográfica</i>	11
<i>1.5.4 Coleta dos dados de campo</i>	12
<i>1.5.5 Tratamento dos dados</i>	13
<i>1.5.6 Integração e interpretação dos dados</i>	13
2 GEOLOGIA REGIONAL	15
2.1 Província Borborema	15
2.2 Divisão da Porção Setentrional da Província Borborema	15
2.3 A deformação frágil na formação dos aquíferos cristalinos	17
<i>2.3.1 A Deformação Tardi-Brasiliana</i>	17
<i>2.3.2 A deformação Juro-cretácea e Eo-terciária</i>	18
<i>2.3.3 A deformação neoterciária-pleistocênica</i>	19
<i>2.3.4 A deformação Holocênica</i>	19
2.4 A Neotectônica na Formação dos Aquíferos Fraturados (Cristalinos)	20
2.5 Contexto Geológico do Município de Quixeramobim	22
<i>2.5.1 Neoarqueana</i>	22
<i>2.5.2 Paleoproterozóico</i>	22
<i>2.5.3 Proterozóico</i>	22
<i>2.5.4 Neoproterozóico</i>	23
<i>2.5.5 Cenozóico (Neógeno)</i>	23
3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM 25	
3.1 Clima	25
3.2 Manto de alteração (Regolito)	26
3.3 Relevo	26
3.4 Drenagem da Bacia do Banabuiú	28
3.5 Aspectos Hidrogeológicos do Município de Quixeramobim	32
3.6 Profundidade Ideal para Poços em Aquífero Fraturado	38
4 O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E O SIG APLICADOS A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS ...	40
4.1 Sensoriamento Remoto	40
4.2 Uso do Sensoriamento na Área de Estudo	42
4.3 SIG – Sistema de Informação Geográfica	45
4.4 Uso do SIG na Área de Estudo	45
5 FORMAS DE OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS	51
5.1 Modelo Riacho-Fenda	51
5.2 Modelo Calha Elúvio-Aluvionar	53
5.3 Modelo Bolsões ou Câmaras de Intemperismo	53
6 ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS	55
6.1 Análise do Poço 01	55
6.2 Análise do Poço 02	57
6.3 Análise do Poço 03	57
6.4 Análise dos Poços 04 e 05	60

6.5 Análise do Poço 06	60
6.6 Análise do Poço 07	63
6.7 Análise do Poço 08	63
6.8 Análise do Poço 09	64
6.9 Análise do Poço 10	68
6.10 Análise do Poço 11	68
6.11 Análise do Poço 12	69
6.12 Análise dos Poços 13 e 14	73
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
BIBLIOGRÁFIAS	77
ANEXO I: Perfis litológico/construtivos dos 14 poços tubulares	83
APÊNDICE: Banco de dados dos poços do município de Quixeramobim (SIAGAS 2012)	97

1 INTRODUÇÃO

Existem vários estudos voltados à locação de poços em terrenos cristalinos e muitos utilizam vários métodos, tais como: sensoriamento remoto, SIG, critérios hidrogeológicos, investigações geofísicas - VLF (Very Low Frequency), eletrorresistividade etc, analisados, por vezes, de forma isolada e por vezes de maneira integrada. As rochas cristalinas são caracterizadas pela reduzida ou inexistência de porosidade intergranular (porosidade primária) e o único meio de infiltração, percolação e acúmulo de água é através das zonas de falhas e/ou fraturas (Larsson, 1977).

O município de Quixeramobim é composto predominantemente por rochas cristalinas e sobre esse substrato ocorrem as coberturas aluvionares. A locação de poços nesse ambiente requer uma análise integrada de vários critérios: formas de relevo, manto de alteração, vegetação, hidrografia e, principalmente, a análise das discontinuidades (fraturas/falhas).

Com a crescente importância da água subterrânea como reserva estratégica, muitos poços estão sendo construídos visando à captação de água nesse município. O grande problema é a falta de critérios técnicos durante a locação do poço, levando muitas vezes a construção de poços com baixa vazão ou, até mesmo, poços secos.

O presente trabalho visa identificar as características hidrogeológicas e os lineamentos estruturais em diferentes escalas e comparar esses dados com a vazão dos poços existentes na área de estudo.

1.2 Justificativa e Relevância do Tema

O município de Quixeramobim é marcado por um clima semi-árido com elevados índices de evapotranspiração ao longo de todo o ano, possui solos pouco espessos, rede de drenagem constituída por cursos d'água intermitentes sazonais de pequena energia e está inserido predominantemente no embasamento cristalino. Todos esses fatores têm contribuído para a escassez de água na região, com isso, a população vem sofrendo com a seca ao longo de sua história. Embora projetos como "Pingo D'Água" (Burte, 2002) tenham mitigado os problemas com a seca de famílias que moram ao longo do Vale do Forquilha, zona rural de Quixeramobim, ainda existe a necessidade da captação de água subterrânea por meio de poços tubulares por parte do governo. O grande problema são os altos custos

desses investimentos com muitas vezes baixo índice de sucessos, levando a construção de muitos poços improdutivos devido a má localização.

Vários poços já foram construídos no embasamento cristalino de Quixeramobim e os resultados denotam poços com baixa vazão ou até mesmo poços secos.

Diante dessa problemática pretende-se entender de forma mais detalhada a hidrogeologia desses terrenos, bem como selecionar áreas com maior potencial para ocorrência das águas subterrâneas, visto que esse tipo de captação é uma alternativa para as comunidades distantes dos centros urbanos, principalmente nos períodos de estiagem, onde a maioria dos reservatórios superficiais encontra-se secos.

1.3 Objetivos

- Geral:

Analisar os aspectos hidrogeológicos aplicados à localização de poços em terrenos cristalinos numa área do município de Quixeramobim, Ceará.

- Específicos:

- Confeccionar mapa de lineamentos estruturais, de drenagem, litológico, hipsométrico, de densidades de lineamento e drenagem;
- Analisar de forma integrada o relevo, hidrografia, manto de alteração, geologia e lineamentos (fraturas/falhas) e comparar com vazões dos poços;
- Propor nova localização de poços baseando-se na interpretação conjunta dos dados de relevo, manto de intemperismo, fraturas e litologia.

1.4 Localização e acesso

A área de estudo está inserida no município de Quixeramobim e possui uma área de 639,6 km². O quadro 01 mostra as coordenadas que limitam a área pesquisada.

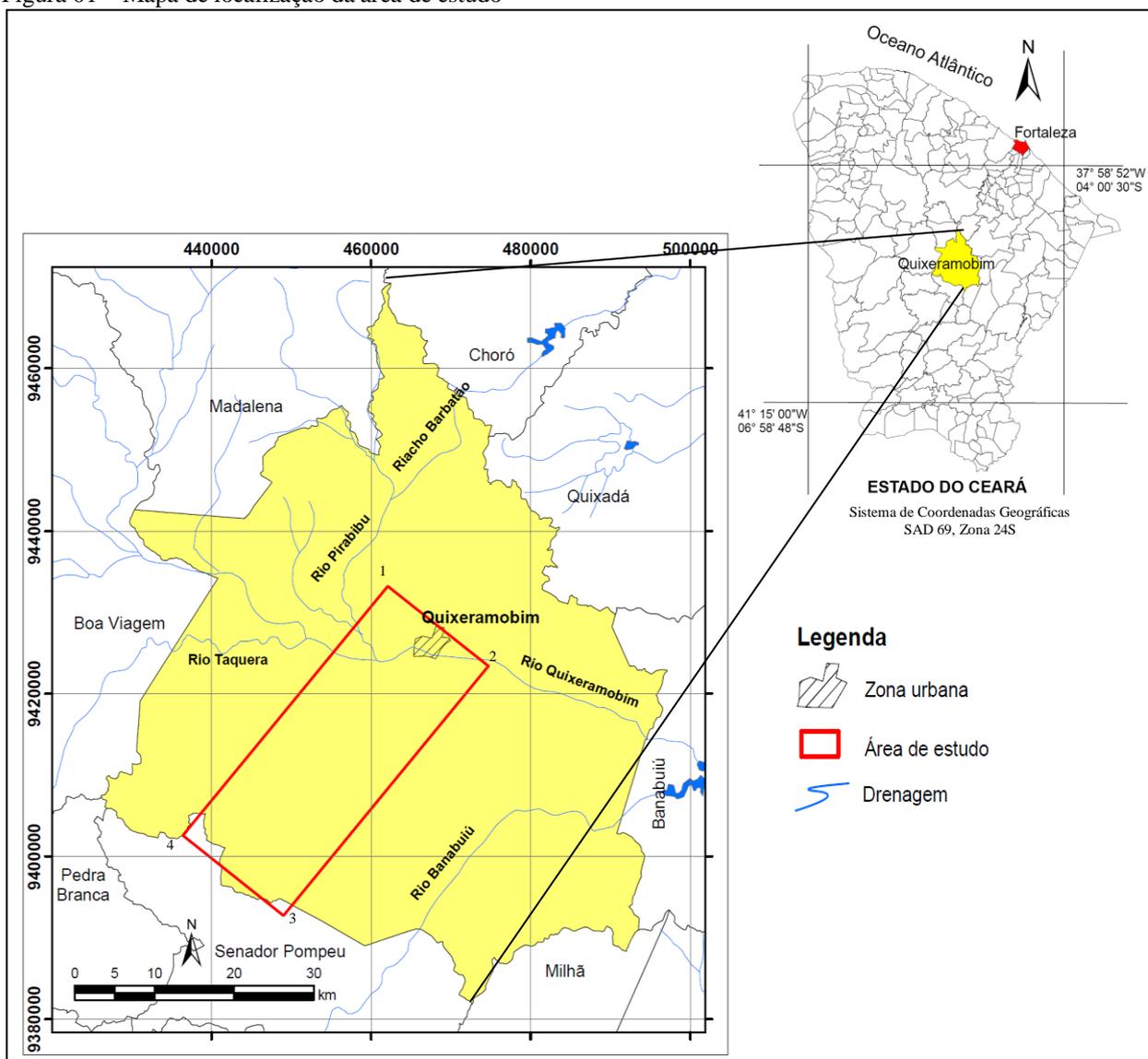
O município de Quixeramobim possui uma área de 3.276 km² e está localizado nas coordenadas de 5° 11' 57"S e 39° 17' 34"W. É limitado ao norte pelos municípios de Quixadá, Choró e Madalena, ao sul pelos municípios de Senador Pompeu e Milhã, ao leste por Milhã, Solonópole, Banabuiú e Quixadá e, ao oeste por Madalena, Boa Viagem, Pedra Branca e Senador Pompeu (Figura 01).

O acesso ao município, partindo de Fortaleza, pode ser feito pela BR-116 até a BR-122. Em seguida segue pela CE-060 até chegar ao município de Quixeramobim.

Quadro 01 – Coordenadas em UTM da área de pesquisa. Sistema de coordenadas SAD69, Zona 24S.

Vértice	UTM (E)	UTM (N)
1	462085	9433233
2	474693	9423382
3	448982	9392740
4	436374	9402591

Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autor, 2013.

1.5 Materiais e métodos

O método do trabalho foi desenvolvido em seis (06) etapas:

1.5.1 Levantamento bibliográfico

Essa fase envolveu a coleta de dados geológicos, estruturais, hidrogeológicos, solos, vegetação, poços, clima e hidrografia do município de Quixeramobim.

Foram pesquisados os trabalhos já realizados na área e na região adjacente, levando em consideração os mais antigos até os recentes e de cunho expressivo que retratam a hidrogeologia, geologia, morfologia, a sub-bacia hidrográfica etc.

Foi realizado um levantamento sobre os trabalhos que retratam a hidrogeologia dos terrenos cristalinos, as vazões e os métodos de locação de seus poços, a fim de obter melhor entendimento sobre a área de estudo.

1.5.2 Cadastro de poços

O levantamento dos poços do município de Quixeramobim foi realizado a partir do Banco de Dados do SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – CPRM/Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais, 2012).

Com os dados de vazão, nível dinâmico e estático, profundidade e capacidade específica foi possível ter conhecimento, através de histogramas, do potencial hídrico subterrâneo no município. A natureza, situação e o tipo de uso dos poços foram analisados através de diagramas estatísticos elaborados na planilha Excel.

Dos 184 poços cadastrados no banco de dados do SIAGAS foram selecionados 14 poços para estudos de maior detalhe, todos com dados de vazão, nível estático e dinâmico, profundidade, profundidade das entradas d'água (fraturas) e perfis construtivos. Foi através da posição geográfica desses poços que se definiu a área alvo para esta pesquisa.

1.5.3 Base cartográfica

A base cartográfica para a confecção do mapa geológico e hidrográfico do município foi obtida a partir das Folhas de Quixeramobim (SB.24-V-D-III) e Senador

Pompeu (SB.24-V-D-VI), escalas 1:100.000, disponibilizadas pela CPRM. Imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e do Google Earth também foram utilizadas.

Os mapas de topografia, drenagem e lineamento foram gerados a partir da imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A topografia e a drenagem foram geradas automaticamente, enquanto que os lineamentos foram gerados a partir da interpretação visual, após a aplicação do relevo sombreado e dos filtros. Os filtros utilizados foram o Sobel nas direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE e o Direcional do tipo Kernel 5 X 5 em diferentes azimutes (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°), ambos aplicados com o intuito de destacar os lineamentos estruturais que ocorrem na área.

O mapa de densidade de lineamentos foi gerado com o auxílio do SIG, através do comando ArcTool-Box > Spatial Tools > Density > Line Density. A layer de densidade foi dividida em 10 classes que variam de 10% em 10% de concentração de lineamentos em determinada área.

O mapa de densidade de drenagem foi obtido aplicando o mesmo método utilizado no mapa de densidade de lineamentos.

O mapa hipsométrico também foi gerado no SIG e, nesse caso, foram utilizadas 18 classes altimétricas, cada qual com intervalo de 20,0m.

1.5.4 Coleta dos dados de campo

Durante os trabalhos de campo foram observados e coletados dados sobre a geologia, geomorfologia, drenagens, espessura do solo, direção das fraturas e das foliações dos afloramentos rochosos existentes nas proximidades dos 14 poços visitados.

Na análise topográfica dos locais onde situam-se os poços, foi usada a seguinte classificação:

- Alto topográfico - Quando a boca do poço possui grande desnível topográfico em relação a principal drenagem naquela área.
- Médio topográfico - Quando a boca do poço possui médio desnível topográfico em relação a principal drenagem naquela área.
- Baixo topográfico - Quando a boca do poço possui pequeno desnível topográfico em relação a principal drenagem naquela área.

Essa classificação é relativa, adquirida na prática de campo e variável de um local para outro; no entanto, deve ser levada em consideração, haja vista que é a topografia (que por sua vez tem sua origem assinada pela litologia, pela estrutura geológica etc.) que

controla o fluxo da água superficial e quando aplicada na análise dos terrenos cristalinos para fins de prospecção de água subterrânea tem grande relevância, principalmente quando se procura zonas de recargas.

Na análise da espessura do solo foram tomados como base os dados dos perfis construtivos dos poços e a análise de campo. Esta última se deu através da verificação da existência de afloramentos rochosos próximos ao poço, isto é, se próximo ao poço existissem rochas aflorantes o solo é considerado inexistente ou pouco espesso.

1.5.5 Tratamento dos dados

Com os dados obtidos nas etapas anteriores foram confeccionados mapas de lineamento, hipsométrico e de densidade de lineamentos, geológicos e de densidade de drenagem, todos na escala 1:150.000.

Foram confeccionados mapas de localização do poço com maiores detalhes (1:5.000 e 1:10.00) com a finalidade de se obter uma visão panorâmica sobre as condições ambientais do local.

Com os dados dos poços cadastrados no SIAGAS foi possível descrever o número de poços, o tipo e o seu uso no município. Também foi realizada uma análise descritiva dos valores de vazão, nível dinâmico e estático, profundidade e capacidade específica.

Com os dados dos 14 poços foram confeccionados perfis geológicos em direções estratégicas, de modo que pudesse mostrar as melhores condições hidrogeológicas em subsuperfície. A escolha da direção do perfil foi obtida através da análise conjunta dos fatores que contribuem para a formação dos aquíferos em terrenos cristalinos, levando-se em conta principalmente a análise de fraturas.

1.5.6 Integração e interpretação dos dados

Com a integração dos mapas temáticos de geologia, hipsométrico, de lineamentos, de densidade de lineamentos e de drenagens com os dados de vazão dos poços foi possível verificar a existência de uma relação entre eles e a viabilidade do método para os dados em questão.

Com a avaliação do quadro geológico-estrutural e hidrográfico dos locais onde estavam os poços foi possível selecionar locais com maior potencial para o acúmulo da água subterrânea.

2 GEOLOGIA REGIONAL

2.1 Província Borborema

A área de estudo está inserida na Província Borborema, mais precisamente no Domínio Ceará Central (Figura 02).

A Província Borborema é caracterizada como um complexo mosaico de terrenos separados por falhas ou altos do embasamento (Almeida et al, 1981), resultado da convergência dos Crátons São Luís-Oeste Africano, São Francisco-Congo e Amazônico, que estiveram envolvidos na amalgamação e conseqüente formação do Supercontinente Gondwana. Esta Província é subdividida em sete (07) principais domínios geotectônicos (Brito Neves, Santos & Van Schmus, 2000) limitados por zonas de cisalhamento de escala continental (Vauchez *et al*, 1995).

2.2 Divisão da Porção Setentrional da Província Borborema

A Porção Setentrional da Província Borborema está dividida em três grandes domínios, a saber: Domínio Médio Coreaú, limitado a leste pela Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II; Domínio Ceará Central, limitado a Oeste Pela Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II e a leste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; e Domínio Rio Grande do Norte, limitado a Oeste pelo Lineamento Senador Pompeu e a Sul pelo lineamento de Patos (Santos & Brito Neves, 1984).

O Domínio Médio Coreaú está situado na porção noroeste da subprovíncia e é constituído pelos seguintes terrenos: Granja, composto por ortognaisses TTG (Tonalito-trondhjemitó-granodiorito), granulitos e migmatitos, representando o embasamento; Faixa Martinópolis-Ubajara, correspondendo às seqüências de margem continental passiva; e Pequenos riftes implantados ao longo das zonas de cisalhamentos Brasileiras, que originaram as bacias extensionais (Brito Neve *et al*, 1999).

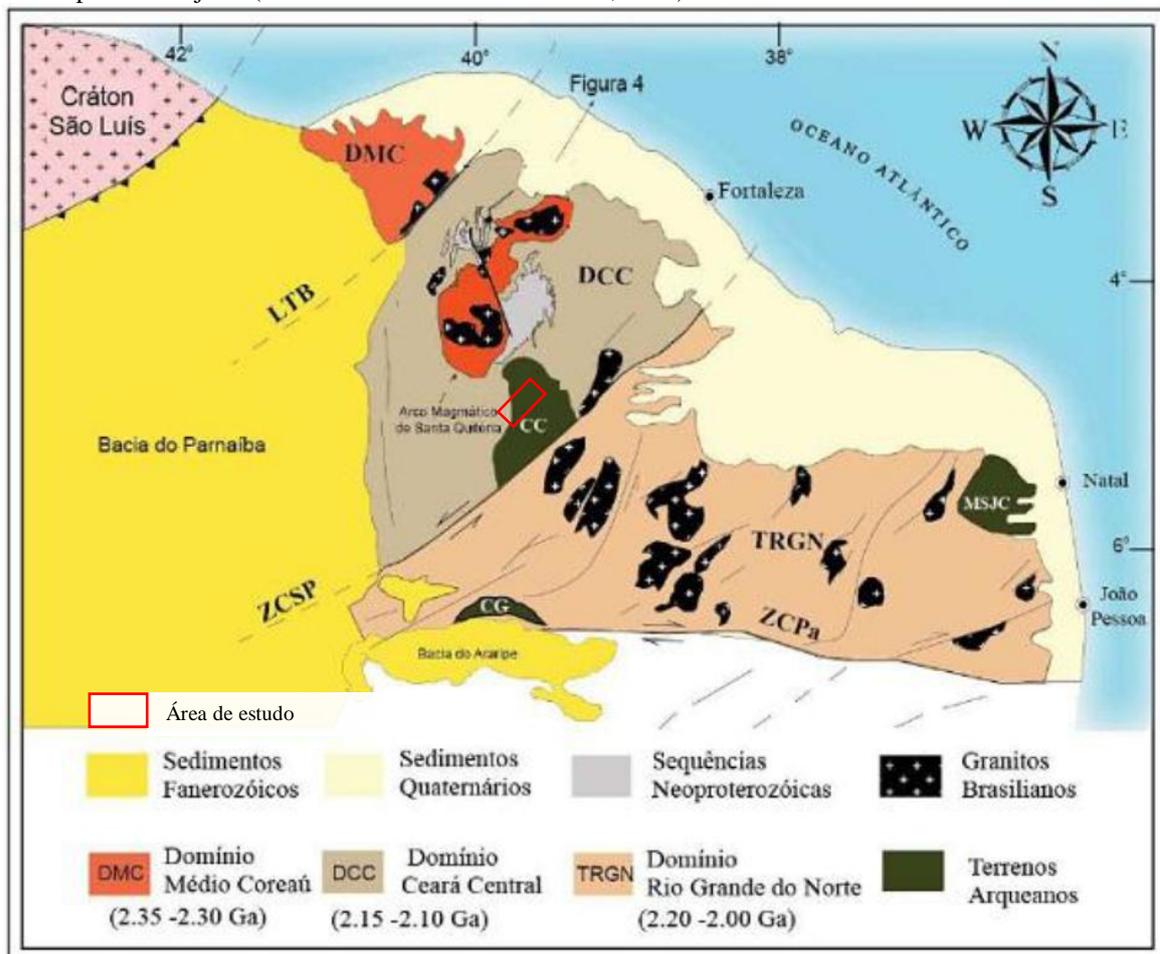
O Domínio Ceará Central é subdividido, segundo Arthaud *et al* (2008), em quatro (04) principais unidades lito-estruturais:

- Núcleo arqueano representado pelo maciço de Tróia-Pedra Branca que é limitado por zonas de cisalhamento (Caby & Arthaud, 1986) e constituído por ortognaisses de composição granodiorítica a tonalítica, um complexo máfico a ultramáfico e unidades vulcanossedimentares.

- Embasamento paleoproterozoico juvenil de 2,14 – 2,10 Ga (Fetter et al, 2000; Martins, Oliveira & Lafon, 2009) constituído por ortogneisses e migmatitos com assinatura geoquímica de suítes TTG, e menores porções de paragneisses e rocha metamáfica metamorfizadas em condições de fácies anfíbolito.
- Cobertura neoproterozóica representada pelo Grupo Ceará, composta por uma sequência predominantemente metapelítica com finas camadas de quartzito, lentes de metacalcário, finas camadas de rochas metavulcânicas félsicas e anfíbolito. Arthaud *et al* (2008) interpretaram os corpos de anfíbolitos como possíveis derrames basálticos e/ou tufos, e as rochas paraderivadas como representantes de uma sequência de margem passiva depositada depois de 750 Ma. No entanto, estudos recentes mostram que parte da sequência apresenta cristais de zircão detríticos com idade em torno de 660 Ma (Ancelmi, 2011; Araújo et al, 2012). Para Araújo et al (2012), a distribuição das idades dos grãos de zircão detríticos das rochas metassedimentares do Grupo Martinópolis (Domínio Médio Coreaú) se assemelha à distribuição obtida nas rochas do Grupo Ceará, levando-os a considerar que ambos grupos representam bacias correlacionáveis em um ambiente geotectônico de margem ativa, mas que foram metamorfizadas em níveis crustais distintos.
- Complexo predominantemente constituído por plutônicas félsicas de alto potássio (Complexo Tamboril-Santa Quitéria) com abundante quantidade de enclaves máficos. Estes possuem bordas miloníticas e porções menos deformadas que coincidem com as injeções magmáticas mais novas (tardi-tectônicas). Em termos gerais, são constituídos por gabro, diorito, tonalito, granodiorito, monzogranito e diatexito que são interpretadas como um complexo de arco magmático continental, denominado de Arco Magmático de Santa Quitéria (Fetter et al, 2003), relacionado ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano.

O Domínio Rio Grande do Norte é constituído pelas faixas Seridó, Terrenos de Rio Piranhas, São José do Campestre e Granjeiro. Apresenta embasamento proterozóico com núcleos meso e neoarqueanos (Terreno São José Campestre), associado com supracrustais paleoproterozóicos (Faixa Orós-Jaguaribe) e neoproterozóicas (Faixa Seridó). Esses terrenos sofreram uma intensa tectônica de escape e um expressivo Plutonismo Brasileiro.

Figura 02 – Esboço geológico regional da porção setentrional da Província Borborema e dos arredores do lineamento Patos. LTB = lineamento Transbrasiliano; ZCSP = Zona de Cisalhamento Senador Pompeu; ZCPa = Zona de cisalhamento Patos; CC = Complexo Cruzeta; MSJC = Maciço São José do Campestre; CG = Complexo Granjeiro (modificado de Van Schmus et al, 1995).



Fonte: Amaral, 2010.

2.3 A deformação frágil na formação dos aquíferos cristalinos

Aqui serão abordados, sob ordem cronológica, os principais fraturamentos que atingiram a Faixa Seridó e Regiões Adjacentes no Nordeste do Brasil.

2.3.1 A Deformação Tardi-Brasiliana

É o evento mais antigo (Jardim de Sá, 1994; CPRM 1998 – Mapa Geológico do Rio Grande do Norte) e corresponde a um contexto de transpressão dextral ao longo de zonas de cisalhamento NNE, sucedida por falhas conjugadas NE (dextral) e NW (sinistral) que retratam uma compressão, a grosso modo, na direção E-W, além de fraturas NNE a N-S (também dextrais ou contracionais). Essas fraturas atualmente aflorantes foram formadas em

temperatura ainda relativamente elevada ($<300^{\circ}\text{C}$), possivelmente na faixa entre 4 a 8 km de profundidade, sendo caracterizadas pela parcial ductilidade e feições como: a) Drag folds, estreitas zonas ou filmes miloníticos de baixa temperatura; b) preenchimento por veios ácidos (aplitos, pegmatitos, granitóides, quartzo), em especial nas juntas de extensão e falhas normais E-W, e estruturas pull-apart; c) slickenlines de baixo rake, constituídos por minerais fibrosos (clorita, sericita, muscovita) e quartzo estirado; d) movimento similar ao de zonas miloníticas, no mesmo ou em afloramentos vizinhos; e) texturas cataclásticas, nos exemplos mais tardios/de nível mais raso (Jardim de Sá, 2000). Em termos cronológicos, a deformação frágil tardi-Brasiliana pode ser situada no intervalo Cambro-Ordoviciano (500 ± 30 Ma), com base em datações (K-Ar, Ar/Ar) nos pegmatitos, rochas graníticas e metamórficas.

Durante o restante do Paleozóico não existem registros da evolução tectônica.

2.3.2 A deformação Juro-cretácea e Eo-terciária

Esse evento de deformação frágil corresponde a uma série de pulsos de fraturamento, diferenciados cronologicamente na área de atuação, mas todos filiados ao processo de rifteamento e deriva continental que controlou a abertura do Atlântico Sul. A estruturação mais importante, no interior do continente, corresponde aos sistemas de falhas de Carnaubais (Bacia Potiguar) e de Portalegre (Bacia do Rio do Peixe), que delimitam um grande eixo de rifteamento que atravessa a Província Borborema - o chamado “trend Cariri-Potiguar” (Matos, 1992). Neste contexto, falhas de direção NE atuaram com movimento predominantemente normal, segmentadas por falhas de transferência de direção NW a E-W (Jardim de Sá, 2000).

A deformação transformante que passou a caracterizar a margem equatorial, a partir do Cretáceo superior (Matos, 1999), ainda não está caracterizada no cristalino. Processos térmicos são apontados como responsáveis por um importante episódio de soerguimento e erosão regionais na porção submersa da Bacia Potiguar, o qual ocorreu após o Mesocampaniano. A passagem do centro de expansão oceânica ao largo da margem continental norte teria soerguido a bacia e formado uma notável discordância regional - a “discordância pré-Ubarana”, causando ainda um intenso processo de reativação tectônica na região (Cremonini & Karner, 1995).

Na Formação Serra do Martins, cuja idade é atribuída ao Eoceno, evidências de deformação sin-sedimentar e paleosismicidade (Falhas, diques neptunianos, fraturas cônicas em argilitos, estruturas em pilar e boudinage), são mais frequentes onde esses depósitos

capeiam ou estão adjacentes às zonas de cisalhamento brasileiras (Jardim de Sá et al, 1999).

2.3.3 A deformação neoterciária-pleistocênica

As estruturas que se enquadram nesse evento são do tipo sindeposicionais e equivalentes tardios, de mesma cinemática, presentes na Formação Barreiras e unidades correlatas do Mioceno-Pleistoceno. Na Bacia Potiguar (em especial, na Formação Jandaíra), este evento deformacional assume grande importância, representado por sistemas de lineamentos que reativam estruturas precambrianas no substrato e/ou cretáceas (caso dos sistemas de falhas de Afonso Bezerra, transcorrente dextral com direção NW, e de Carnaubais, reativado em transcorrência sinistral). Juntas de extensão e falhas extensionais N-S estão inseridas no mesmo contexto cinemático, que implica numa compressão (eixo σ_1) N-S e extensão (eixo σ_3) E-W (Dantas et al, 1999).

No sul da Bacia Potiguar, no domínio do Planalto da Borborema, a Formação Serra do Martins foi alçada e hoje está preservada em platôs-testemunhos, cujo arrasamento deve estar associado à deposição da Formação Barreiras no litoral. Em grande parte, os lineamentos e fraturas reconhecidos no capeamento sedimentar dos platôs (os sistemas NE, NW e N-S) podem ser correlacionados ao mesmo evento de compressão N-S e extensão E-W, caracterizado na Bacia Potiguar. Essas fraturas continuam no embasamento cristalino, controladas e reativando estruturas pré-existentes (Barros, 1998; Menezes, 1999).

A “compressão” N-S é tentativamente interpretada como um efeito do domeamento crustal em resposta à subida da pluma associada ao Vulcanismo Macau (Jardim de Sá *et al*, 1999; Dantas et al, 1999). Esse contexto envolveria extensão geral em superfície (no plano horizontal) com σ_1 N-S e σ_3 E-W, alternando e interferindo com o sistema de tensões de escala continental, relacionado à expansão do Oceano Atlântico e deriva continental (σ_1 E-W e σ_3 N-S), que perdura até os dias atuais (Ferreira *et al*, 1998).

2.3.4 A deformação Holocênica

Os dados sismológicos (Ferreira *et al*, 1998) estabelecem um campo de tensões atual com compressão E-W e extensão N-S, no domínio setentrional da Província Borborema. Por outro lado, também ocorrem situações mais localizadas, a exemplo dos sismos de Palhano (estado do Ceará), que identificam um movimento transcorrente dextral em planos E-W. A mesma conclusão é obtida da análise de fraturas impressas em *beachrocks* datadas do intervalo de 7 a 4,5 Ka BP, bem como na Formação Barreiras no litoral leste (Fraturas de cisalhamento

NE dextrais e NW sinistrais, bissectadas por juntas de extensão E-W) (Caldas et al, 1997; Coriolano et al, 1999). No litoral norte, fica confirmada a transcorrência dextral associada a um componente extensional, ao longo de falhas E-W paralelas aos cordões de arenitos de praia. Estudos estruturais e morfotectônicos confirmam que o padrão de afloramento da Formação Barreiras, da Formação Tibau, das cascalheiras (Formação Faceira) e das coberturas inconsolidadas holocênicas, é frequentemente controlado pela reativação de estruturas de *trend* NE ou NW, tanto na Bacia Potiguar (Lima et al, 1990; Dantas et al, 1999) como no litoral leste (Coriolano et al, 1999).

Este campo de tensões reativa as estruturas pré-existentes, tal como na falha sísmica de Samambaia (Coriolano *et al*, 1997). Alinhamentos morfotectônicos correspondentes adentram na plataforma e demarcam a feição denominada de canyon de Touros, a NW de Natal (Bezerra, 1998).

No interior, as fraturas E-W de idade tardi-brasiliana e/ou cretácea são novamente reativadas em cinemática extensional, marcada por estrias e ressaltos argilosos. É também característico o basculamento da superfície somital de algumas serras (As serras quartzíticas das Queimadas e Umburanas, na região centro-sul da Faixa Seridó, p.ex.), por abatimento ao longo de falhas normais E-W, que recortam boqueirões na paisagem serrana (Nascimento Silva & Jardim de Sá, 2000).

Menezes & Jardim de Sá (1999) conseguiram monitorar, através de precipitados carbonáticos datados (método U-Th) no intervalo >300 a 1,5 Ka que essas estruturas permitem diagnosticar a ocorrência de diferentes regimes cinemáticos transcorrentes, com o eixo σ_1 inferido dispondo-se ora N-S/NNE ora ENE/E-W.

2.4 A Neotectônica na Formação dos Aquíferos Fraturados (Cristalinos)

A importância do fraturamento para formação de reservas de águas subterrâneas nos terrenos cristalinos é um tema bastante discutido na hidrogeologia.

Durante muito tempo acreditava-se que o fraturamento existente nas rochas provinha de uma deformação dúctil (tectonismo mais antigo), no entanto, hoje se sabe que os esforços recentes, principalmente o tectonismo cenozóico, sobrepuseram outros eventos, dando origem aos fraturamentos de níveis crustais mais rasos e de caráter, predominantemente, distensional (Jardim de Sá, 2000).

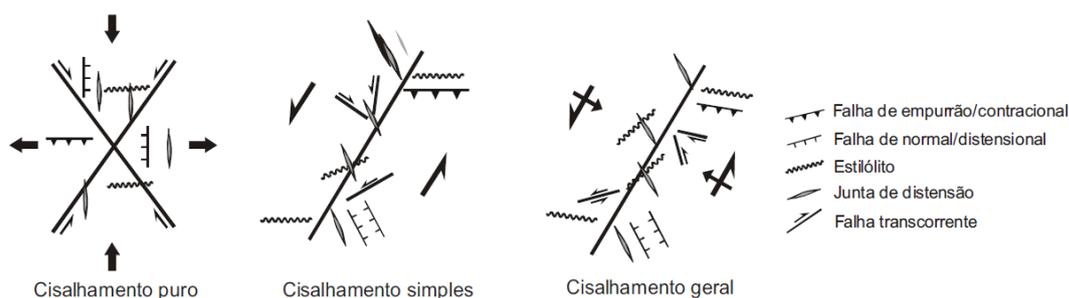
Com o estudo da neotectônica é possível inferir as direções de tensões que foram responsáveis pelos sistemas de fraturamentos. No entanto, sabe-se que a trama do fraturamento

no cristalino tem uma história normalmente complexa, relacionada a diferentes episódios de deformação, que se sucedem durante o cenozóico (Jardim de Sá, 2000).

No estudo das fraturas existem vários parâmetros que são analisados, tais como conectividade, rugosidade, espaçamento, comprimento, abertura etc (ISRM, 1983). Dentre eles, a abertura depende da orientação das fraturas em relação ao campo de tensões atual. Desse modo, as fraturas que possuem baixo ângulo em relação ao eixo de compressão principal (convencionalmente representado pelo σ_1) são consideradas mais “abertas”, funcionando como juntas de extensão, e, assim, com maior potencial hídrico. As fraturas que possuem alto ângulo com σ_1 se comportam como fraturas fechadas, com componente de compressão, podendo também se comportarem como fraturas de cisalhamentos ou fraturas híbridas (Figura 03).

É necessário o reconhecimento de conjuntos de fraturas que estejam relacionadas a um mesmo regime cinemático e respectivo campo de tensões. Isto envolve a distinção de processos de cisalhamento puro, simples ou geral; fraturas de extensão, cisalhamento, estilólíticas e híbridas; regimes de extensões, contração e transcorrência. Em cada um desses regimes, diferentes conjuntos e tipos de fraturas podem funcionar mecanicamente integrados, em coerência cinemática (juntas T, R, R', P; falhas de transcorrência ou rampas laterais; falhas contracionais ou extensionais em zonas de ponte de transcorrência e etc (Jardim de Sá *et al*, 1999).

Figura 03 – Falhas, eixos de tensões e regimes cinemáticos. Por simplicidade foram representadas apenas as juntas de distensão e as falhas em cada caso. O eixo σ_2 é sempre ortogonal ao demais. Por convenção, σ_1 representa regime de compressão e σ_3 o regime de tração.



Fonte: Coriolano, 2002.

Atualmente o Nordeste Brasileiro encontra-se sob um regime de esforços predominantemente compressivos de direção E-W, decorrentes da compressão na Cadeia Andina, da expansão da Dorsal Meso-Atlântica e da força de arrasto da base da litosfera. A reativação neotectônica (até 0,01 Ma) é observada a partir de abalos sísmicos em diversas regiões da

Província Borborema, como os que foram registrados nos arredores da Província Alcalina de Fortaleza - Ceará, zona de forte atividade sísmica (Saadi e Torquato, 1992) relacionada à movimentação de falhas secundárias conectadas à Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (Peulvast e Claudino Sales, 2004). Como atuação de tensões mais recentes, observam-se registros que controlam os vales estruturais de alguns rios (Bezerra et al, 2001) e padrões de afloramentos da Formação Barreiras (Lima et al, 1990) na região litorânea.

2.5 Contexto Geológico do Município de Quixeramobim

De acordo com Almeida (2007) o município de Quixeramobim possui rochas de idades Neoarqueanas ao Cenozóico, descritas a seguir:

2.5.1 Neoarqueana

São rochas do Complexo Cruzeta representadas pelos paragnaisses e ortognaisses bandados, migmatizados, ricos em intercalações de anfíbolitos e, localmente, formações ferríferas bandadas, metagranitóides indiscriminados e biotita muscovita leucogranitos.

2.5.2 Paleoproterozóico

Pertencem a essa idade as rochas da Suíte Sítio dos Bois e da Unidade Algodões. A Suíte Sítio dos Bois é representada pelos metatonalitos/granodioritos com diques sin-plutônicos de composição quartzo-diorítica - diorítica. A Unidade Algodões é representada pelos paragnaisses arcosianos a grauvaquianos, anfíbolitos, xistos pelíticos, quartzitos, rochas calcissilicáticas e formações manganésíferas bandadas.

2.5.3 Proterozóico

Nele existem rochas da Unidade Quixeramobim e do Complexo Acopiara, sendo que no primeiro ocorrem muscovita-granada-silimanita-rutilo-biotita xistos, mármore, quartzitos, anfíbolitos e rochas calcissilicáticas migmatizadas e, no segundo, ocorrem muscovita granitos, diatexitos, metatexitos, xistos, rochas calcissilicáticas e granitos.

2.5.4 Neoproterozóico

Pertencem a essa idade as rochas do Milonito do Lineamento Senador Pompeu, das Suítes Nenelândia, Banabuiú e Aroeiras, a Supersuíte Rio Quixeramobim e rochas do Complexo Ceará.

No Milonito do Lineamento Senador Pompeu ocorrem milonitos, protomilonitos e blastomilonitos. Nas Suíte Nenelândia ocorrem granitos de cor cinza, granulação fina e do tipo S. Na Banabuiú ocorrem granitos brancos, cinzas, de granulação fina, do tipos S, ricos em enclaves micáceos. Na Suíte Aroeiras ocorrem séries granítica cálcio-alcalina de médio-K, porfiríticas com megacristais de K-feldspatos variando de 1 a 3cm (2 cm tamanho comum), caracterizado pela razão comprimento/largura.

A Supersuíte do Rio Quixeramobim é composta pelas Suítes Muxurê Velho, Uruquê, Serra Branca, Boa Fé, Água Doce, Muxurê Novo e Quixadá. Na Suíte Muxurê Velho ocorrem dioritos e quartzo-diorito, mesocrático, de cores escuras, ocorrendo na forma de enclave e diques sin-plutônicos. Na Suíte Uruquê ocorre a série granítica cálcio-alcalina de alto-K e de granulação fina. Na Suíte Serra Branca Ocorre a série granítica cálcio-alcalina de médio-K, porfirítica com megacristais de K-feldspatos variando de 6 a 20 cm (8 cm tamanho médio). Na Suíte Boa Fé ocorre a série granítica cálcio-alcalina de médio-K, porfirítica com megacristais de K-feldspatos variando de 1 a 3 cm (2 cm tamanho comum), caracterizada pela razão comprimento/largura. Na Suíte Água Doce ocorre a série granítica cálcio-alcalina de baixo-K, afírica, granulação média. Na Suíte Muxurê Novo ocorre a série granítica cálcio-alcalina de médio-K, porfirítica com megacristais de K-feldspatos variando de 1 a 6 cm (3 cm tamanho médio) e na Suíte Quixadá ocorrem Monzonitos e sienitos shoshoníticos porfiríticos, ricos em enclaves microgranulares.

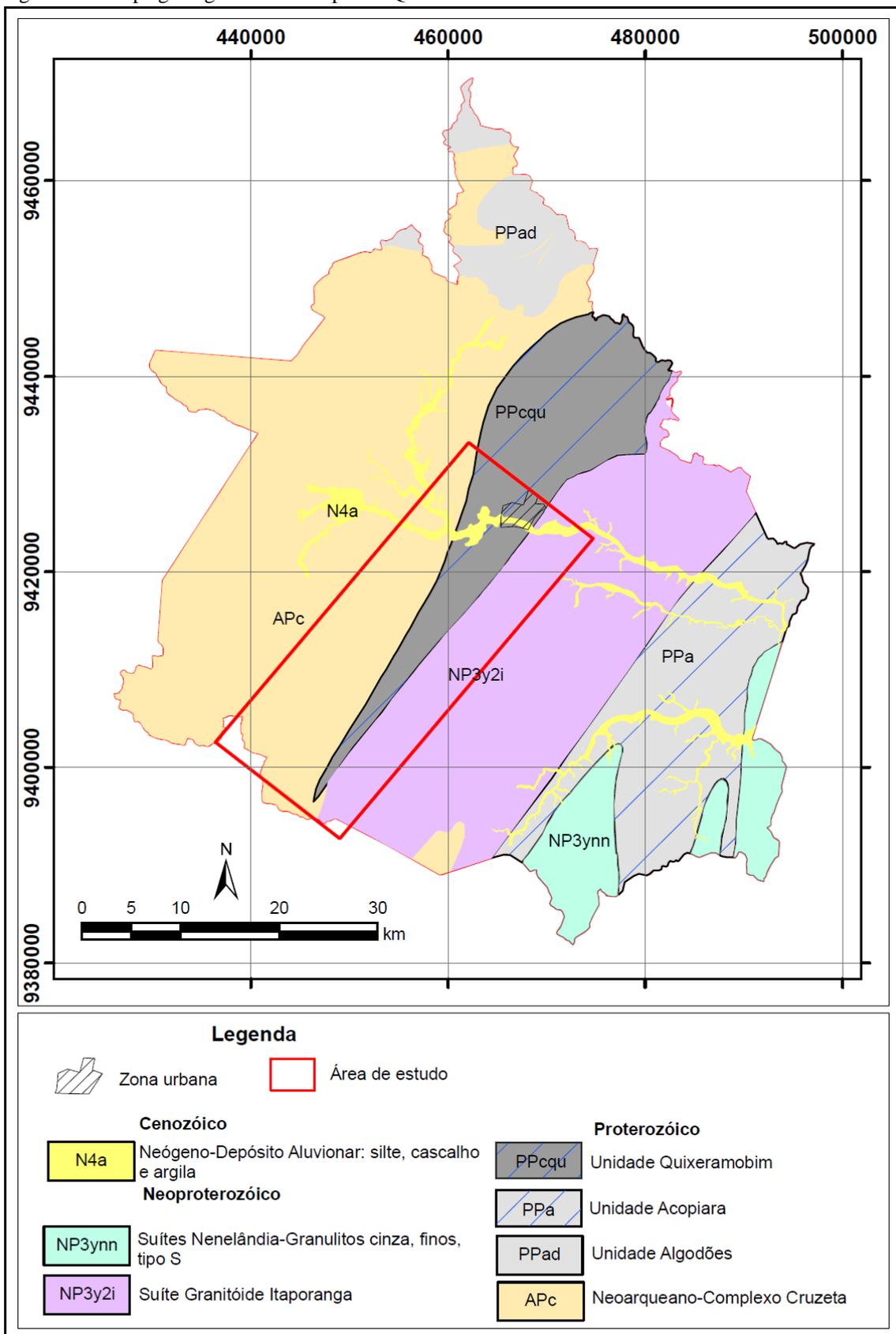
As rochas do Complexo Ceará são representadas pela Unidade Juatama, onde ocorrem os metatexitos, diatexitos ricos em restitos xistosos ou anfibolíticos, mármore, rochas calcissilicáticas e granitos cinza fino tipo S.

2.5.5 Cenozóico (Neógeno)

São sedimentos inconsolidados de idades recentes representados pelos Depósitos Aluvionares incluindo: areias argilosas, quartzosas e quartzo-feldspáticas, conglomeráticas ou não e cascalhos.

A Figura 04 mostra o mapa geológico simplificado do município de Quixeramobim.

Figura 04 – Mapa geológico do município de Quixeramobim - Ceará.



Fonte: Modificado de Almeida, 2007.

3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DO MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM

Nesse capítulo caracteriza-se os aspectos ambientais em um contexto regional, tais como clima, vegetação, geomorfologia, hidrografia e solo.

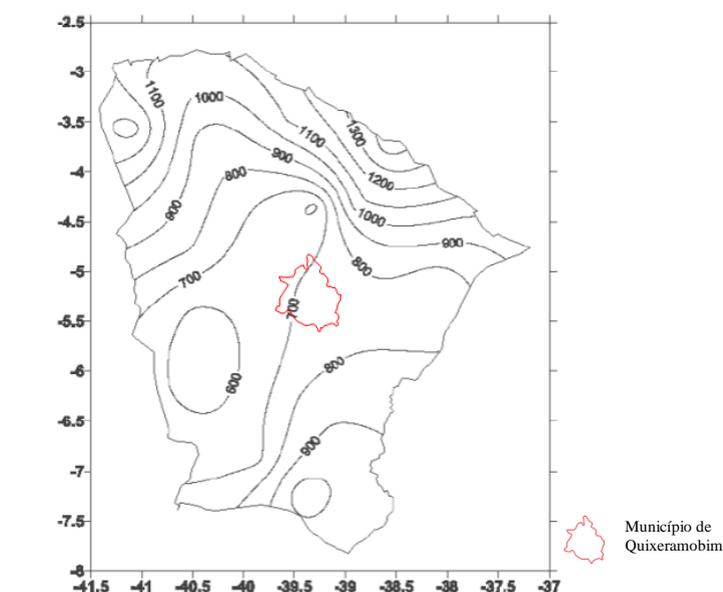
3.1 Clima

Muitos fatores influenciam no volume hídrico subterrâneo das rochas cristalinas, entre eles o clima. Sabe-se que uma região com altos valores de precipitação pluviométrica anual irão contribuir para a formação e recarga de aquíferos fraturados, daí a importância de conhecer o clima da região de estudo. A intensidade da precipitação altera o nível freático, a quantidade e a qualidade da água e causa grandes diferenças nas características dos aquíferos de regiões climáticas distintas como, por exemplo, a região sudeste e nordeste do Brasil (Costa, 1980).

Segundo o IPECE (2012), o município de Quixeramobim possui um clima do tipo tropical quente semi-árido, com temperatura média anual variando de 26 a 28°C, com período chuvoso entre fevereiro a abril e pluviosidade de 707,7mm.

A Figura 05 mostra a distribuição espacial da precipitação média anual no estado do Ceará. Os valores variam de 1.400mm nas regiões do litoral a 600 mm no sertão. Nota-se que o município de Quixeramobim, Sertão Central Cearense, possui baixos valores de precipitação, 700mm/ano, perdendo somente para a região sudoeste do estado, com valores abaixo de 600mm/ano.

Figura 05 – Distribuição espacial da precipitação média anual no estado do Ceará (mm/ano).



Fonte: Santos *et al.*, 2009.

3.2 Manto de alteração (Regolito)

A espessura do manto de alteração, ou regolito, é um dos fatores mais importantes que mantém a disponibilidade de água subterrânea por longos períodos em terrenos cristalinos (Lachassagne *et al*, 2001).

A espessura da zona intemperizada vai depender da história geológica da área. Em áreas sujeitas a rápidos e intensos processos erosivos, a rocha não pode estar na superfície do terreno; por outro lado, em áreas pouco erodidas, a rocha alterada pode se estender até 90 metros de profundidade, sendo comum as profundidades entre 20-30 metros (Davis e Turk, 1964).

No município de Quixeramobim ocorrem predominantemente solos pouco profundos e com características morfológicas, físicas e químicas, que favorecem o desencadeamento de processos erosivos. Tal fato contribui para incrementar o déficit hídrico subterrâneo na região, tendo em vista que a erosão retira o material que fica sobre a rocha, diminuindo a espessura do manto de alteração e, conseqüentemente, sua capacidade de armazenamento de água (Oliveira *et al*, 2011).

Oliveira *et al* (2011), utilizando imagem de satélite fizeram o levantamento dos solos na Folha de Quixeramobim e verificaram a presença de uma diversidade de solos, tais como: Neossolos Litólicos, Argissolos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Quartzarênicos, Luvisolos, Planossolos Háplicos e Nátricos e Vertissolos. Também constataram que os Neossolos Litólicos são os que apresentam maior expressividade na área, com principal limitação ao uso agrícola e pequena profundidade efetiva.

3.3 Relevo

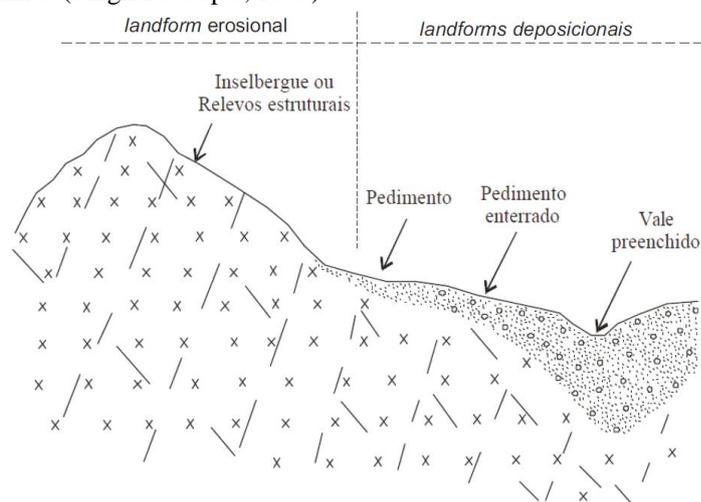
A influência da topografia sobre a produtividade dos poços, especialmente de poços rasos onde a contribuição do manto alterado é maior, tem sido destacada por vários autores (LeGrand, 1967; McFarlane *et al*, 1992; Henriksen, 1995). Siddiqui (1969) mostrou que os poços localizados em vales podem ser mais produtivos do que os situados em encostas e topos. Henriksen (1995) afirma que as áreas planas, mesmo aquelas topograficamente elevadas, podem ser mais produtivas devido à presença de coberturas superficiais mais espessas, além de receberem maiores recargas.

No entanto, outros autores (Yin e Brook, 1992; Knopman e Hollyday, 1996) não consideram a topografia um fator importante e afirmam que sua influência na produtividade dos poços ocorre em menos de 10% das variações observadas. Yin e Brook (1992), interpretando os dados de LeGrand (1967), mostram que a topografia sozinha não pode explicar as variações de produtividade dos poços, mas que traços de fraturas teriam influência maior. Mas, como as depressões topográficas usualmente seguem traços de fraturas e possuem grandes espessuras de material de alteração, a probabilidade maior de se obter boas produtividades nos vales é lógica. Além disso, estas depressões também são ocupadas por canais que funcionam como zonas de recargas (Singhal e Gupta, 1999).

O estudo das formas de relevo (*landforms*) no local onde se pretende prospectar água subterrânea em terrenos cristalinos vai auxiliar na locação do poço.

De forma generalizada, as *landforms* são divididas em dois grupos: os *landforms* erosionais e os deposicionais (Figura 06). As *landforms* erosionais estão associados com terrenos de superfície rochosa resistente erodida, enquanto que as *landforms* deposicionais são formadas por processos deposicionais de rios, vento e etc (Singhal e Gupta, 1999).

Figura 06 – Perfil esquemático com ilustração das diferentes formas de relevo (*landforms*) existentes nos terrenos cristalinos (Singhal e Gupta, 1999).



Fonte: Singhal e Gupta, 1999.

Sob o ponto de vista geomorfológico a região de estudo está subdividida em cinco subunidades (Torquato *et al*, 1989), a saber:

- Maciço residual das Serras Guaribas-Macaco (*landforms* erosionais);
- Depressão Central (*landforms* deposicionais);

- Agrupamentos de Inselbergs (landforms erosionais);
- Áreas de acumulação inundáveis (landforms deposicionais), e;
- Planícies e terraços fluviais (landforms deposicionais).

O Maciço Residual compreende um conjunto de serras e pequenos serrotes que se mostram orientados grosseiramente na direção NE-SW, apresentando níveis altimétricos em torno de 450-500m. O limite desta sub-unidade corresponde, segundo referidos autores, à Zona de Cisalhamento de Quixeramobim.

A Depressão Central corresponde à área de coalescência dos níveis de pedimentação cenozóicas, com cotas variáveis entre 170 a 220m e entre 230-280m, correlatas, respectivamente, aos setores de pedimentos conservados (Faixa a partir da calha do rio Quixeramobim para NE) e de pedimentos dissecados (SW do rio Quixeramobim).

Os Agrupamentos de Inselbergs incluem o conjunto de granitos e gnaisses, isolados ou não, orientados segundo NE-SW ao longo de uma faixa que se inicia próximo à localidade de Encantado e prolonga-se até a Serra de Urucu, onde fica o Santuário de Quixadá.

As Áreas de Acumulação Inundáveis correspondem às pequenas depressões de formas semicirculares, periodicamente sujeitas às inundações, posicionadas à jusante das rampas pedimentadas, limitando-se, às vezes, com as planícies fluviais.

As Planícies e Terraços Fluviais compreendem as áreas de acumulação de sedimentos aluviais e coluviais que formam as principais planícies fluviais da região. A largura das planícies é mais expressiva ao longo dos rios Quixeramobim, Banabuiú e Groaíras.

3.4 Drenagem da Bacia do Banabuiú

A caracterização qualitativa e quantitativa da drenagem de uma bacia pode fornecer informações importantes sobre o potencial dos recursos hídricos subterrâneos da área estudada.

O município está inserido totalmente na Sub-bacia do Banabuiú (Figura 07), homônima ao mais importante rio desta sub-bacia e tem como principais afluentes pela margem esquerda os rios Patu, Quixeramobim e Sitiá e pela margem direita destaca-se apenas o riacho Livramento.

De acordo com o INESPE (2009) (Instituto de Estudos e Pesquisas para o Desenvolvimento do Estado do Ceará), essa sub-bacia possui déficit hídrico considerável

para todos os municípios nela inseridos, devido às elevadas temperaturas e as altas taxas de evaporação, aliadas às baixas pluviosidades, ocasionando num escoamento da drenagem restrito aos períodos chuvosos. Daí a importância dos recursos hídricos subterrâneos nessa região, principalmente nos períodos de estiagem. Os principais sistemas aquíferos existentes nessa sub-bacia são os fraturados e as aluviões. As aluviões são importantes porque possuem uma porosidade primária e, nos termos arenosos, uma elevada permeabilidade, traduzindo-se em unidades com excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. Os cristalinos (Fissurais) apresentam um “baixo potencial”, pois se encontram inseridos em áreas de rochas do embasamento cristalino, sendo as zonas de fraturas os únicos condicionantes da ocorrência d'água nestas rochas.

A recarga destas fraturas se dá através dos rios e riachos que estão encaixados nessas estruturas, o que ocorre somente no período chuvoso.

Figura 07 – Principais afluentes e municípios que são drenados pela Sub-bacia do Banabuiú.



Fonte: COGERH, 2013.

No estudo da drenagem é importante caracterizar seu padrão e sua densidade, pois eles estão relacionados com a litologia, estrutura e permeabilidade da rocha (Gupta, 2003).

A rede de drenagem no município é constituída por cursos d'água intermitentes, sazonais e de pequena energia, formando vales largos e configurando um

padrão de drenagem predominantemente dendrítico (Figura 08), localmente estruturado, em zonas de cisalhamento e áreas mais fraturadas.

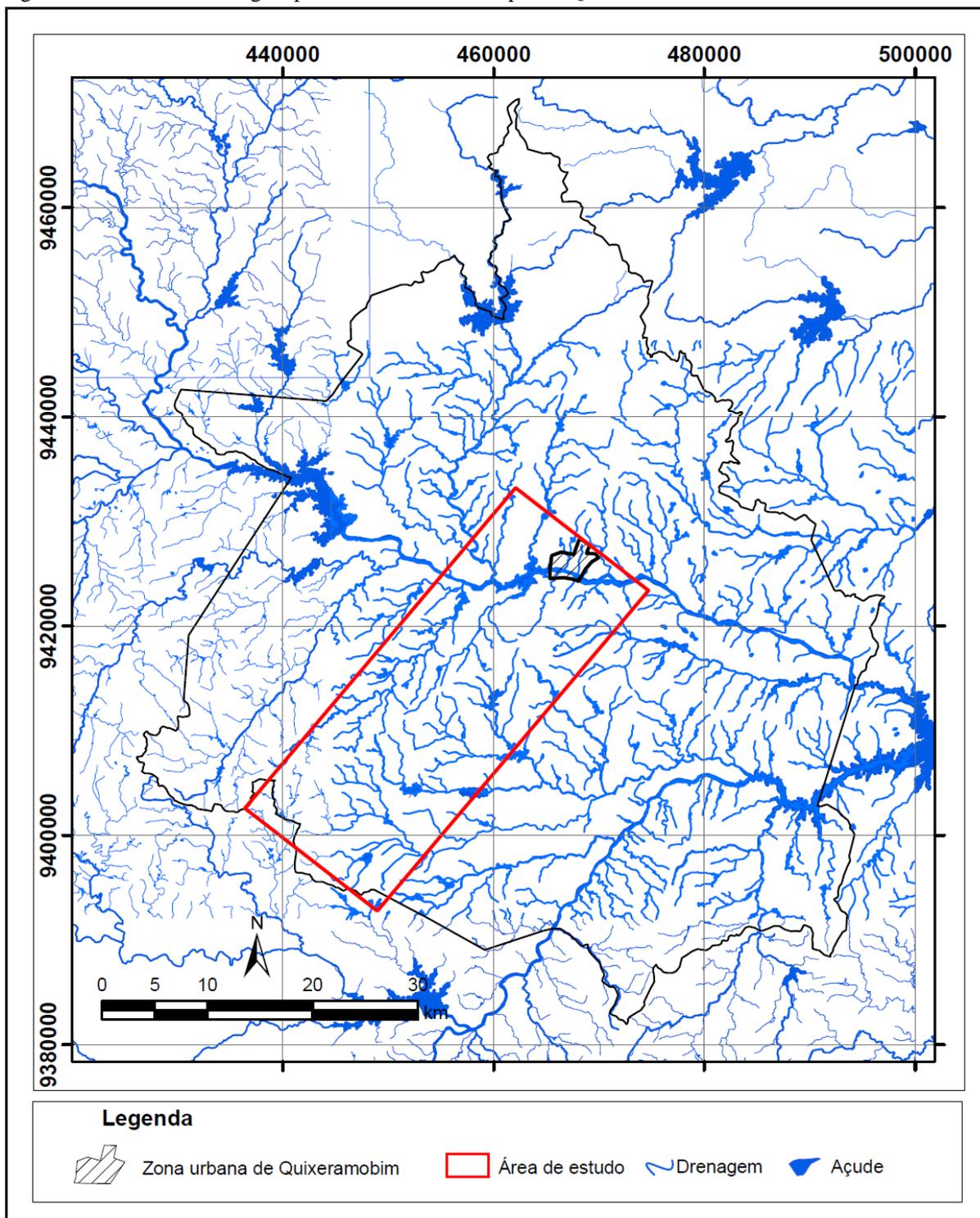
Nesses terrenos alguns trechos da drenagem podem estar controlados por fraturas tectônicas e, muitas vezes, poços localizados nestes locais possuem boas vazões, principalmente devido à existência dessas zonas de recargas.

A quantificação e caracterização das captações de água subterrânea na sub-bacia mostram a existência de 2.900 pontos d'água, sendo: 2.624 poços tubulares; 272 poços amazonas e 4 fontes naturais, captando água tanto em rochas sedimentares como cristalinas (Figura 09). Os 2.624 poços tubulares estão distribuídos por toda a sub-bacia e captam água dos seguintes aquíferos: 44,55% de aluvionares e 55,45% de fraturamentos da rocha (INESPE, 2009).

Os aquíferos aluvionares (1.169 poços) estão representados por depósitos sedimentares areno-argilosos recentes que ocorrem ao longo dos rios e riachos da Sub-bacia do Banabuiú os quais, mesmo ocupando uma pequena fatia da área, representam os seus principais aquíferos, tendo uma importância relativamente alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente para o abastecimento das populações difusas. A profundidade dos poços com informação (85,03%) é em média 9,30m. Somente 33,28% dos poços têm dados de vazão, com valores médios de 24,0 m³/h (INESPE, 2009).

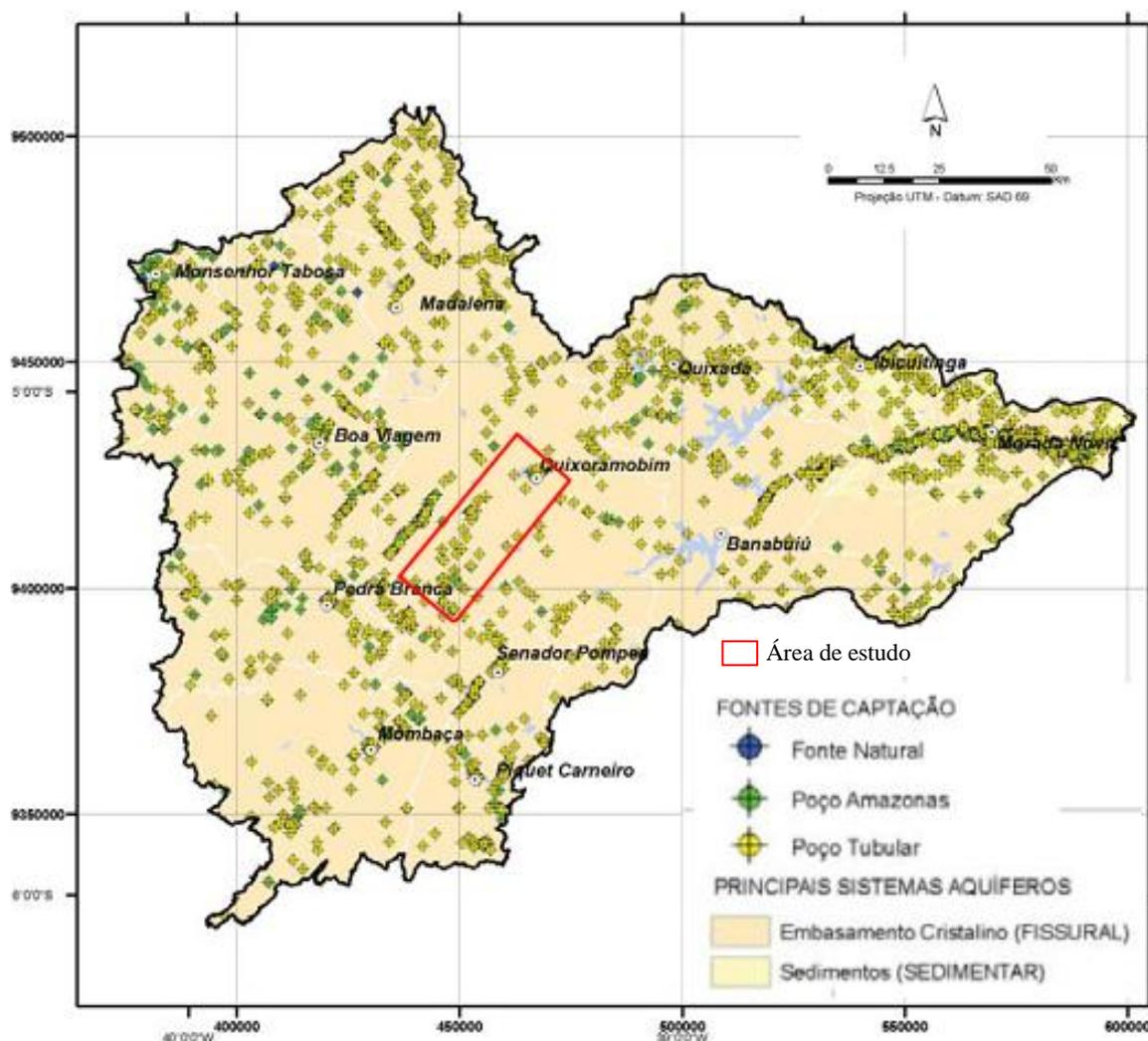
Os aquíferos fissurais, representados pelas rochas do embasamento cristalino com fraturas abertas, ocupam 96,53% da área da Sub-bacia do Banabuiú e graças à sua distribuição espacial são de grande importância para o abastecimento das populações interioranas, principalmente as difusas. A análise dos dados de 1.455 poços tubulares existentes neste aquífero mostra que, em relação à profundidade, 90,93% dos poços têm esta informação, sendo a média igual a 61,15 m. Em relação à vazão de 81,51% dos poços, os valores médios são da ordem de 1,98 m³/h (INESPE, 2009).

Figura 08 – Padrão de drenagem predominante no município de Quixeramobim - Ceará.



Fonte: Autor, 2013.

Figura 09 – Principais sistemas aquíferos, distribuição espacial e tipo de poços na Sub-bacia do Banabuiú - Ceará.



Fonte: Cordeiro et al, 2009.

3.5 Aspectos Hidrogeológicos do Município de Quixeramobim

O município de Quixeramobim é composto predominantemente por rochas cristalinas e sobre esse substrato ocorrem as coberturas Aluvionares. As fraturas existentes nas rochas do embasamento são “zonas potencialmente aquíferas” que apresentam meios de infiltração e circulação da água. No entanto, devido à questão climática da região, marcada com pouca chuva ao longo do ano e com alta taxa de evapotranspiração, torna-se difícil a acumulação da água nesse meio, refletindo diretamente na vazão dos poços construídos na região, isto é, poços com baixas vazões ou, até mesmo, secos.

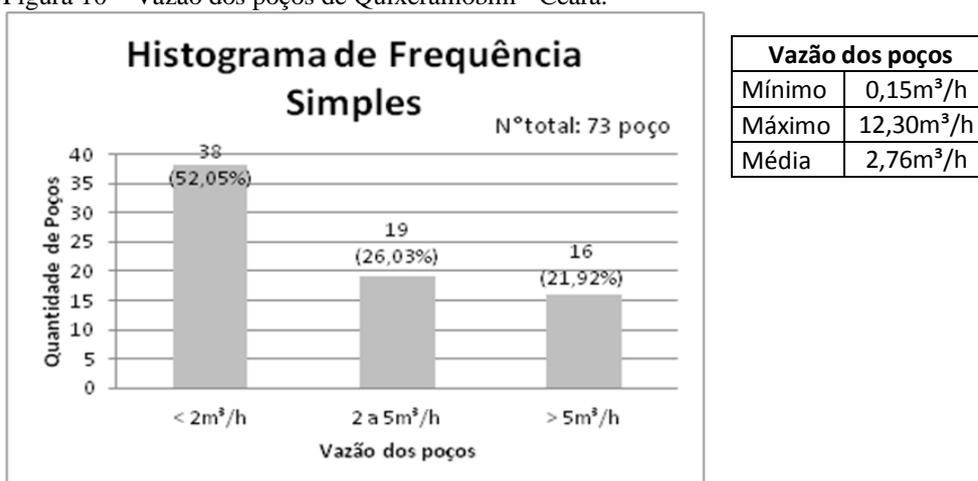
As rochas cristalinas representam o que é denominado comumente de “aquífero fissural ou fraturado”. Como basicamente não existe porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária

representada por fraturas e fendas que formam reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são baixas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semi-árido, é, na maior parte das vezes, salinizada. Essas condições atribuem um baixo potencial hidrogeológico para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem.

Com base no Banco de Dados SIAGAS (2012) foi possível fazer a caracterização hidrogeológica do município. Existem 184 poços cadastrados e, destes, somente 114 possuem dados de profundidade, 49 com valores de nível estático, 73 com dados de vazão, 46 com valores de capacidade específica e 49 com valores de nível dinâmico (Anexo II). Os dados relacionados à natureza, situação e o tipo de uso do poço também foram analisados. Com base nesses valores foi possível uma análise descritiva, como pode ser visto a seguir.

Dos poços cadastrados, 52,05% possuem vazão inferior a $2\text{m}^3/\text{h}$, 26,03% estão entre $2,0$ e $5,0\text{m}^3/\text{h}$ e 21,92% possuem vazão acima de $5\text{m}^3/\text{h}$ (Figura 10). Observa-se que mais da metade dos poços possuem vazões inferiores a $2\text{m}^3/\text{h}$, e embora o município esteja inserido predominantemente em terrenos cristalinos é possível local poços com melhores vazões, desde que sejam realizados estudos mais detalhados, levando em conta todos os fatores que favorecem a formação desses aquíferos.

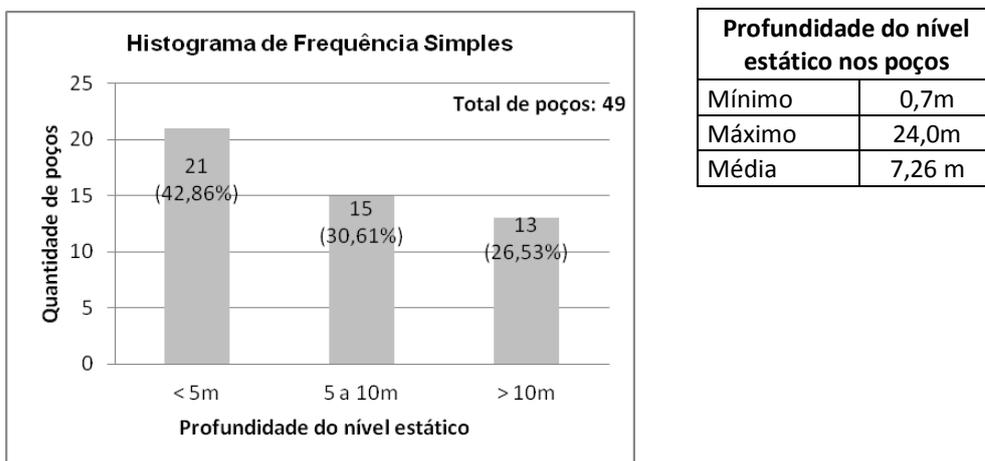
Figura 10 – Vazão dos poços de Quixeramobim - Ceará.



Fonte: Autor, 2012.

Quanto ao nível estático (NE), a grande maioria dos poços (42,86%) possui NE inferior a 5m, sendo que 30,61% possuem NE entre 5 e 10m e 26,53% estão acima de 10m de profundidade (Figura 11).

Figura 11 – Profundidade do nível estático dos poços de Quixeramobim - Ceará.



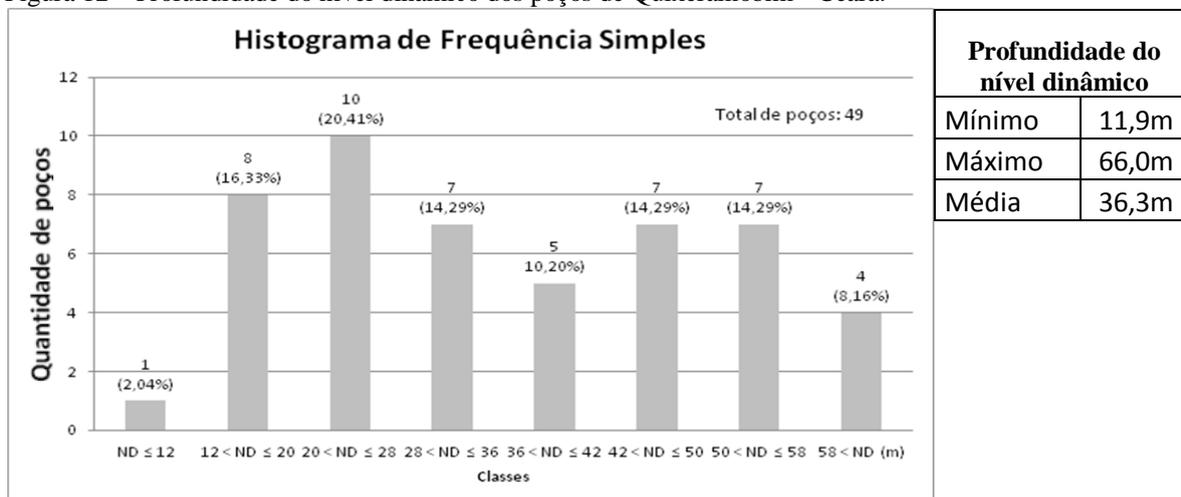
Fonte: Autor, 2012.

O nível dinâmico apresenta valores muito variados, com predomínio para profundidades de 20 a 28m (Figura 12).

Com relação à capacidade específica (CE), 69,57% dos poços possuem valores inferiores a 0,2 [(m³/h)/m], 21,74% possuem CE ente 0, 2 a 0,5 [(m³/h)/m] e 8,70% possuem valores acima de 0,5 [(m³/h)/m] (Figura 13).

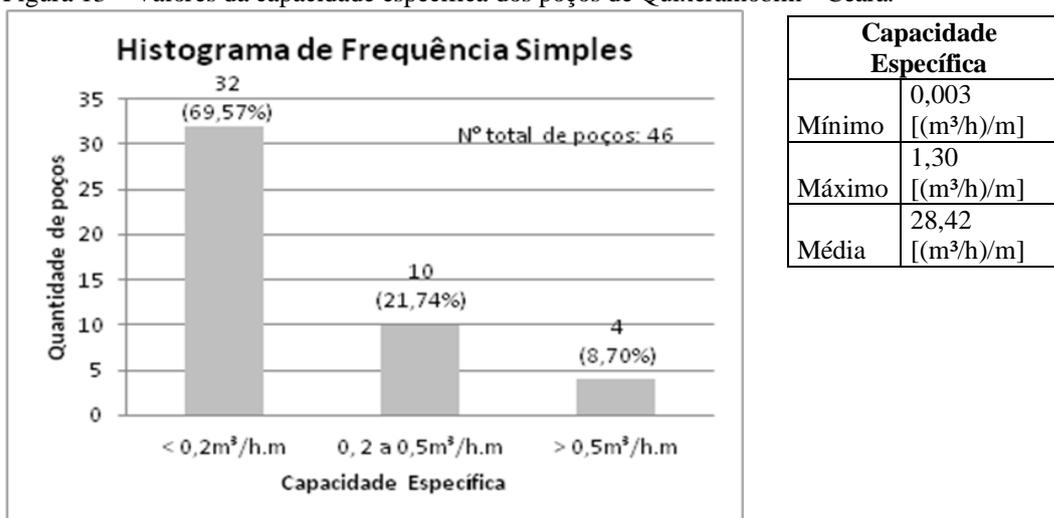
A profundidade dos poços apresenta-se muito variável, oscilando em torno de 4,0 a 93,0 metros, sendo que 13,16% possuem valores inferiores 20m, 16,67% entre 20 a 50m e 70,18% com profundidade acima de 50m (Figura 14).

Figura 12 – Profundidade do nível dinâmico dos poços de Quixeramobim - Ceará.



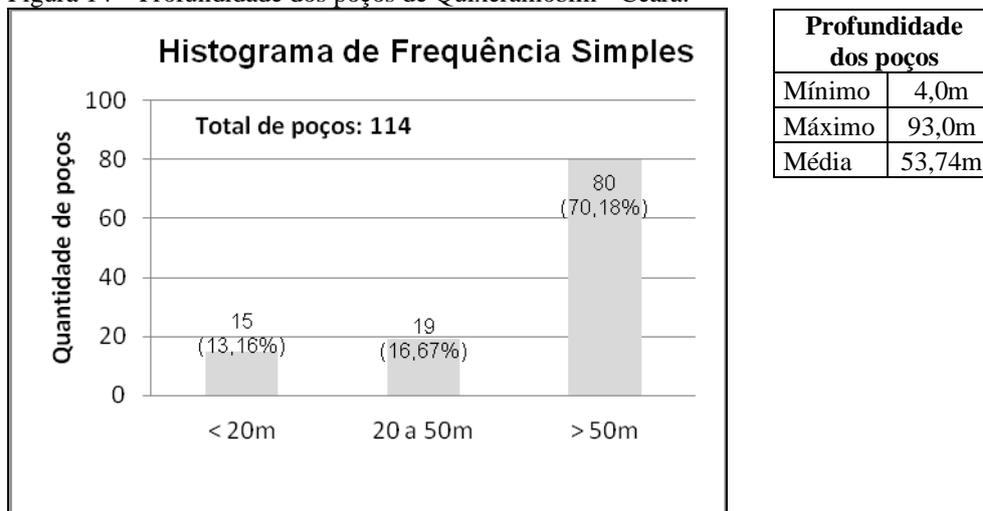
Fonte: Autor, 2012.

Figura 13 – Valores da capacidade específica dos poços de Quixeramobim - Ceará.



Fonte: Autor, 2012.

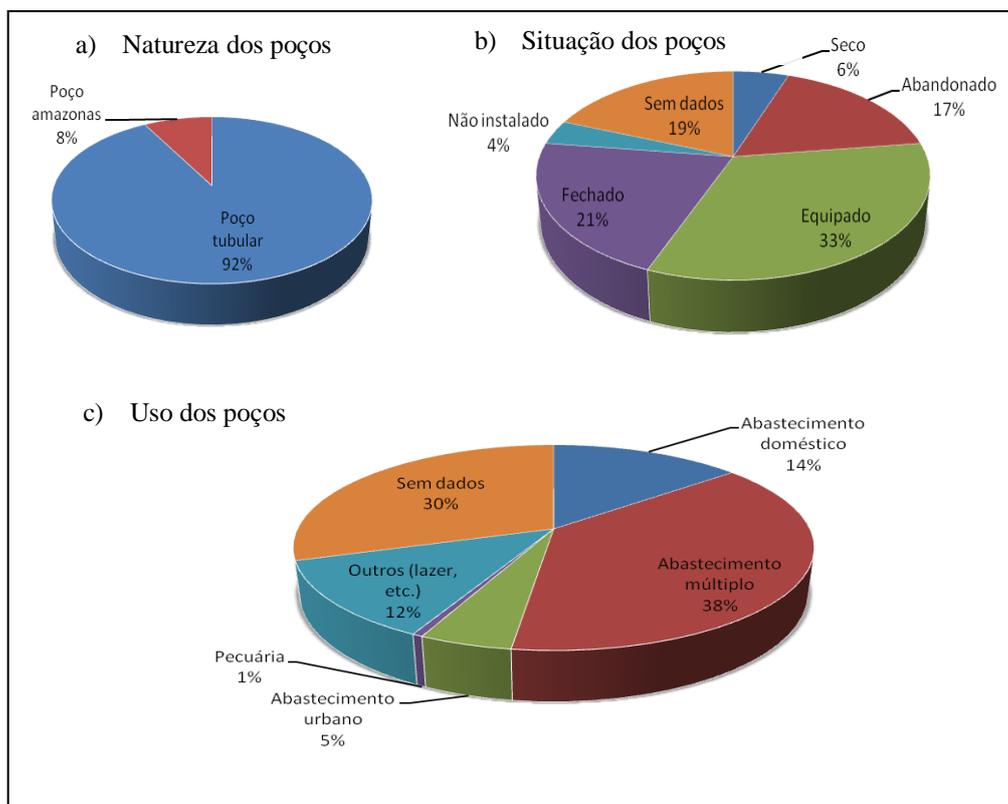
Figura 14 – Profundidade dos poços de Quixeramobim - Ceará.



Fonte: Autor, 2012.

Com base na análise do SIAGAS (2012), foi constatado que a maioria dos poços (92%) é do tipo tubular e 8% poços são amazonas (Figuras 15a). Os tubulares encontram-se em rochas cristalinas enquanto que os amazonas ocorrem nas aluviões. Na análise da situação dos poços verificou-se que 33% estão equipados, 6% estão secos, 17% abandonados, 21% fechados e 4% não instalados (Figura 15b). Quanto ao uso da água, a maioria (38%) é para abastecimento múltiplo e 14% para uso doméstico (Figura 15c).

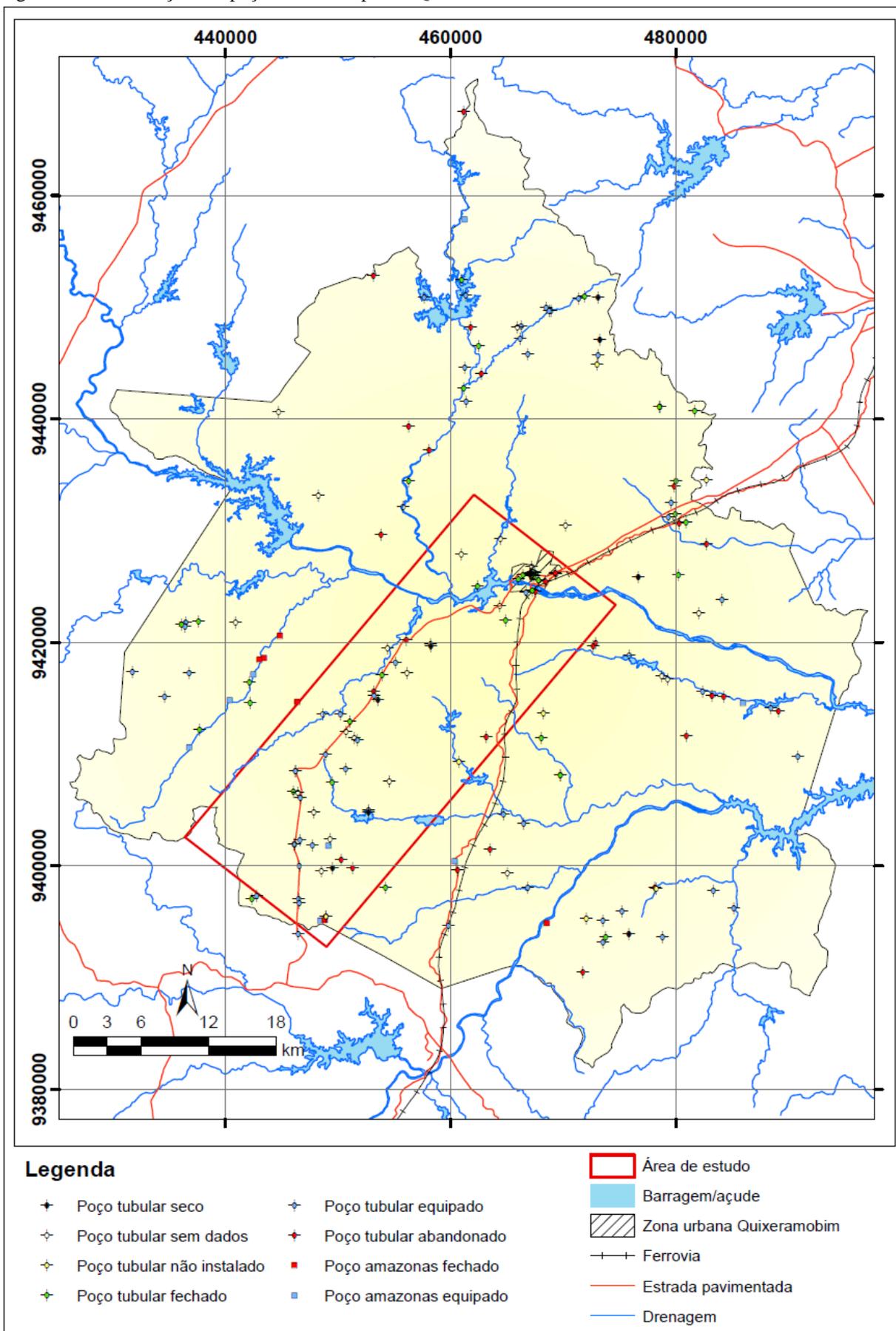
Figura 15: Natureza, situação e o uso dos poços no município de Quixeramobim. a) natureza; b) situação e c) uso dos poços.



Fonte: Autor, 2103.

A Figura 16 mostra a distribuição espacial dos poços tubulares e amazonas, bem como a situação dos mesmos. É possível observar que alguns poços tubulares estão posicionados ao longo das drenagens, dando um indício que suas locações levaram em conta o modelo riacho-fenda.

Figura 16 – Localização dos poços no município de Quixeramobim - Ceará.



Fonte: Autor, 2013.

3.6 Profundidade Ideal para Poços em Aquífero Fraturado

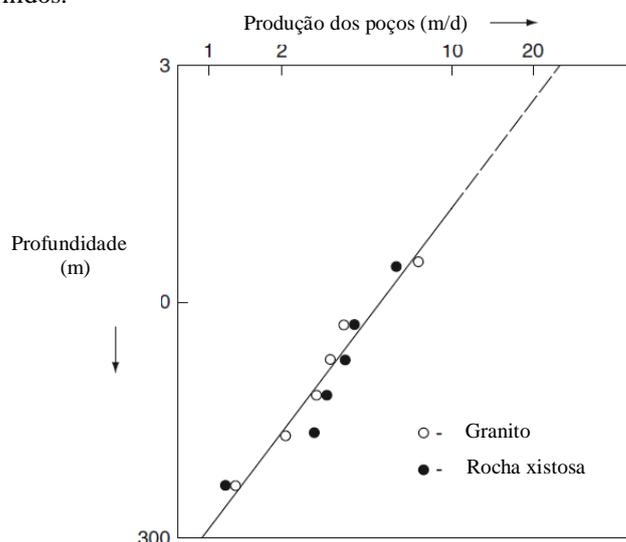
A diminuição da produtividade dos poços em função da profundidade nas rochas cristalinas é relatada por vários autores (Davis e Turk, 1964; UNESCO, 1979; Woolley, 1982; Henriksen, 1995).

Davis e Turk (1964) verificaram que existe a diminuição da quantidade de fraturas e das aberturas entre seus planos com o aumento da profundidade (Figura 17). A abertura ao longo dos planos de falhas também tende a fechar com a profundidade. Estas observações foram confirmadas através de teste de produtividade e de injeção d'água nos poços. Os autores sugeriram que a profundidade ideal para poços em rochas cristalinas seria entre 50 e 60 m.

Custódio e Lhamas (1976) admitem que a faixa de variação da profundidade seja de 100 e 200m, mas ressalva que muitas vezes se alcança o limite com profundidade de 50m.

De maneira geral, a profundidade ideal é na verdade variável de uma região para outra e não existem valores concretos e definitivos para delimitar essa profundidade.

Figura 17 – Diminuição da produtividade dos poços em função da profundidade em rochas cristalinas no Leste dos Estados Unidos.

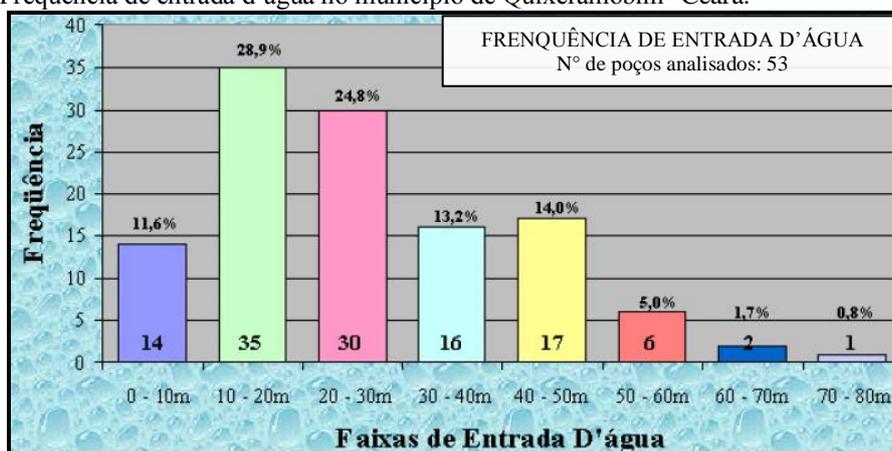


Autor: Davis e Turk, 1964.

Barreto e Costa (1998), analisando as entradas d'água através dos fendilhamentos de 53 poços no município de Quixeramobim, verificaram que 53,7% das fraturas portadoras de água estão entre 10 e 30m de profundidade, 27,7% entre 30 e 50m e o restante distribuído em intervalos com pouca frequência, diminuindo consideravelmente

com o aumento da profundidade. Eles verificaram que os fendilhamentos apresentam melhores vazões, à medida que a profundidade aumenta, chegando ao ponto máximo no intervalo de 30m a 50m, registrando uma média de 4.600l/h e, a partir de 50m as vazões caem consideravelmente com o aumento da profundidade (Figura 18).

Figura 18 – Frequência de entrada d'água no município de Quixeramobim- Ceará.



Fonte: Barreto e Costa, 1998.

4 O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E O SIG APLICADOS A PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS

Nesse capítulo procura-se fazer uma abordagem sucinta sobre a importância e as limitações do sensoriamento remoto e do SIG na prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos. Não há pretensão de aprofundar o tema, até mesmo porque o objetivo principal dessa dissertação é a análise integrada numa escala mais detalhada, isto é, do local onde estão os poços.

4.1 Sensoriamento Remoto

O uso do sensoriamento remoto é grande importância na prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos e as principais feições analisadas nesse tipo de terreno, através de produtos de sensoriamento remoto aéreo e orbitais, são feições geomorfológicas, rede de drenagens, variação da vegetação, da litologia e até seleção de setores com maior umidade (Coriolano, 2002). Embora autores utilizem essa ferramenta para identificar de forma conjunta todas essas feições, a rede de drenagem e os lineamentos (cristas e vales) são as principais feições analisadas, visto que, muitas vezes essas feições são controladas pelas fraturas tectônicas.

Existem vários autores que utilizaram o sensoriamento remoto como ferramenta na seleção de áreas alvo para estudos detalhados na locação de poços. Setzer (1965) utilizou fotografias aéreas para o estudo de fraturas relacionadas à captação de água subterrânea no Estado de São Paulo e verificou que os poços mais produtivos estavam situados junto a zonas de fraturas fotointerpretadas. Porém, ele advertiu que além da determinação das direções de fraturamento é necessário que se faça um levantamento geofísico (eletroresistividade) em dois caminhamentos transversais à fratura localizada com a fotogeologia a fim de marcar o local para construção do poço.

Palacky *et al.* (1981), prospectando água subterrânea em terrenos Pré-Cambrianos na República de Alto-Volta, na África, verificaram que as fotografias aéreas como estudo prévio à geofísica mostram bons resultados na locação de poços. Eles obtiveram 23 poços produtivos dentre 24 perfurações realizadas, correspondendo a 95,83% de chances de acerto.

Menegasse e Duarte (1990), estudando a influência lito-estrutural dos terrenos metamórficos sobre a produção aquífera da região Noroeste da Grande São Paulo, verificaram que a variação litológica, a presença de lentes carbonáticas provindas de

cavernas intercomunicantes e as estruturas lineares fotointerpretadas propiciaram condições bastante favoráveis à acumulação de água, com valores comprovados pelas vazões de 100 a 142m³/h com 61% dos poços acima de 10m³/h, que é a vazão média encontrada nos aquíferos sob a influência do clima da região.

Maranhão (1994), utilizando a fotogeologia para prospecção de aquíferos em meio cristalino cearense, verificou a importância desse instrumento na localização dos aquíferos, no entanto ressaltava que tal procedimento deve ser utilizado como uma ferramenta auxiliar, associada a métodos geofísicos, e somente quando as condições locais do terreno dificultam a interpretação geofísica é que a fotogeologia pode ser usada isoladamente.

Horta (2000) utilizou a cartografia digital e dados de imagens de satélite (Landsat 7) na construção e análise de mapas temáticos para definição de áreas com maior potencial hídrico subterrâneo no município de Ituiutaba, Minas Gerais. Os mapas temáticos criados permitiram um bom entendimento regional da hidrogeologia da cidade, no entanto esses dados não substituem as informações obtidas em campo, que segundo o autor, aperfeiçoariam e acrescentariam mais ao trabalho por ele realizado.

Coriolano (2002) também utilizou o sensoriamento remoto para extrair lineamentos em terrenos cristalinos no estado do Rio Grande do Norte e cita a complexidade de correlacionar os produtos obtidos através dessa ferramenta com a locação de poços devido à diferença de escalas. Segundo ela, as estruturas observadas na escala de locação do poço podem não necessariamente corresponder aos lineamentos de maior tamanho extraídos na imagem.

Da Silva (2007), analisando as imagens de sensoriamento remoto, extraiu feições lineares, rede de drenagens e de contatos geológicos. O autor enfatiza que as informações sobre fraturas são limitadas, sendo importante a caracterização dos dados de campo para confrontar com as feições analisadas na imagem.

O uso do sensoriamento remoto na prospecção de águas subterrâneas tem mostrado bons resultados, no entanto, existem suas limitações principalmente quando comparada com a escala do poço. Um caso típico dessa realidade é verificado nos locais onde poços são construídos a uma distância bem próxima, mas os valores de vazão são bem discrepantes.

Dessa forma, é necessário que o profissional tenha conhecimentos sobre as características hidrogeológicas do local tentando identificar, além das fraturas, as zonas de

recargas. Essa prática é adquirida através da análise de campo, dos afloramentos rochosos, da topografia, da drenagem e da espessura do solo onde será locado o poço.

4.2 Uso do Sensoriamento na Área de Estudo

Foi feita uma análise da eficiência dos lineamentos interpretados a partir da imagem SRTM, isto é, verificando se os lineamentos interpretados correspondem a fraturas, foliação da rocha, drenagem ou outro elemento, tais como: cercas, estradas etc.

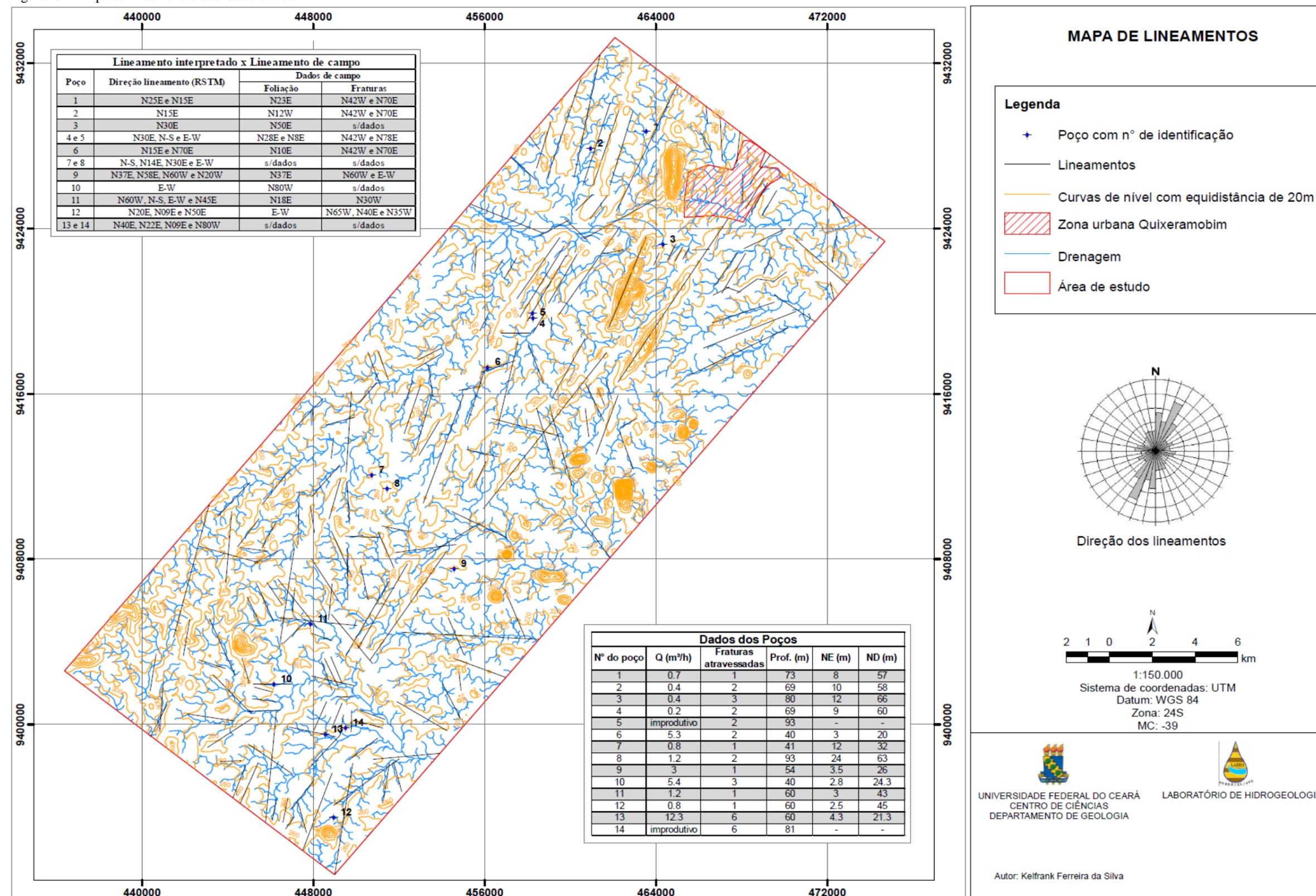
Foram extraídos e confeccionados 177 lineamentos com diferentes comprimentos e seguintes direções: N-S, E-W, NE-SW e NW-SE, com predomínio nas direções NE-SW e NW-SE (Figura 19). Essas direções foram confrontadas com os dados de campo dos locais onde estão os poços, como pode ser descrito a seguir:

- Poço 01 - Na imagem SRTM foi possível identificar um lineamento regional traçado sobre uma drenagem na direção N25E e na análise de campo foi possível observar que a foliação da rocha tem a mesma direção, podendo se tratar de um rio controlado pela foliação.
- Poço 02 - A partir da imagem foi possível identificar lineamentos na direção N15E e na análise de campo orientações N12W para a foliação e N42W, N70E para as fraturas da rocha, não sendo possível correlacioná-las. Numa escala regional percebe-se que a drenagem tem a mesma orientação do lineamento (N15E), mas em escala de detalhe, existem trechos da mesma drenagem que mudam de direção, de N15E para N12W. Tal fato se deve as características locais da área, o que no caso está associada às fraturas, contribuindo para a formação do riacho fenda que pode ser uma boa zona de recarga para os aquíferos fraturados.
- Poço 03 - A partir da imagem foi possível identificar lineamentos na direção N30E e na análise de campo orientações N50E para a foliação. Nesse caso, os lineamentos traçados a partir da SRTM são do tipo dúcteis e não tem muita relevância na prospecção de água subterrânea, a não ser que existam aberturas pronunciadas entre os planos da foliação.
- Poços 04 e 05 – Na imagem foi interpretado lineamentos nas direções N30E, N-S e E-W e na análise de campo orientações N28E, N8E para a foliação e N42W, N78E para as fraturas da rocha. Por tanto, os lineamentos interpretados pode corresponder ao *trend* da rocha.

- Poço 06 – Os lineamentos interpretados possuem direções N15E e N70E e na análise de campo orientações N10E para a foliação e N42W, N70E para as fraturas da rocha, desse modo, os lineamentos interpretados na imagem correspondem às foliações e também as fraturas.
- Poços 07 e 08 – Foram interpretados lineamentos nas direções N14E, N30E, E-W e N-S, mas não foi possível fazer a análise de campo *in situ* devido à ausência de afloramentos.
- Poço 09 – foram interpretados lineamentos nas direções N37E, N58E, E-W, N60W e N20W e na análise de campo as direções N60W, E-W para as fraturas e N37E para a foliação da rocha. Nesse caso, os lineamentos com direções N60W, E-W podem ser fraturas enquanto que os de direção N37E estão associados à foliação da rocha.
- Poço 10 – Os lineamentos interpretados possuem direção E-W, quase paralelos com a direção da foliação da rocha, N80W.
- Poço 11 – Foram interpretados lineamentos nas direções N60W, N-S, E-W e N45E enquanto que os dados de campo possuem direções N18E para foliação e N30W para as fraturas. Nesse caso, não foi possível relacionar os lineamentos interpretados com os dados de campo.
- Poço 12 – Na imagem foi possível interpretar lineamentos nas direções N20E, N9E e N50E e no campo as direções E-W 20S para a foliação e N65W, N40E e N35W para as fraturas da rocha. Logo, o lineamento com direção N50E pode se tratar de uma fratura.
- Poços 13 e 14 – Na imagem foram interpretados lineamentos nas direções N40E, N22E, N9E e N80W e no campo não foi possível coletar dados de foliação e de fraturas.

A análise mostrou que a maioria dos lineamentos interpretados corrobora com os dados de campo (foliação e fraturas da rocha). Nota-se a importância do sensoriamento remoto na prospecção de água subterrânea em terrenos cristalinos, no entanto, suas limitações surgem quando se faz uma análise de maior detalhe sobre a área, principalmente quando existem situações em que é necessário identificar as zonas de recarga hídrica, muitas vezes só identificadas através de análises integradas do local onde será construído o poço.

Figura 19 – Mapa de lineamentos da área de estudo.



Fonte: Autor, 2013.

4.3 SIG – Sistema de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ou *Geographical Information Systems* (GIS), constituem uma poderosa ferramenta no processamento, análise e interpretação dos dados espaciais. Muitos autores tem usado essa ferramenta para análise, exploração, desenvolvimento e gerenciamento de recursos hídricos. Nos estudos hidrogeológicos, há uma necessidade de se obter informações de dados espaciais com diferentes atributos, frequentemente envolvendo diversas formas e tipos de dados.

Freitas (2000) utilizou técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento com o objetivo de mapear áreas com potencial hídrico subterrâneo em rochas cristalinas. O autor utilizou diversos parâmetros, tais como: solo, unidades litológicas, lineamentos morfo-estruturais, declividade do terreno e espessura do manto de alteração. Os resultados demonstraram que a técnica fornece subsídios para estudos de maior detalhe.

O geoprocessamento também foi utilizado pelo Brandão (2003), que usou a tecnologia avançada (geofísica aérea, e principalmente o geoprocessamento) para obter maior conhecimento sobre a ocorrência, circulação e salinização da água subterrânea em terrenos cristalinos. A região analisada foi à folha de Irauçuba, situada no estado do Ceará. O trabalho realizou uma análise integrada de vários elementos, tais como: litologia, solos, declividade, precipitação pluviométrica, cobertura vegetal e uso do solo, e lineamentos morfoestruturais em seguida foram comparados com dados de produção de 108 poços. O produto final foi um mapa de favorabilidade de ocorrência da água subterrânea, onde 81% da área classificada como baixa favorabilidade tem probabilidade 54% de sucesso na locação.

4.4 Uso do SIG na Área de Estudo

Na área de estudo foram utilizados mapas temáticos de litologia, hipsométrico, de densidade drenagem e de lineamentos, todos foram confrontados com a vazão dos 14 poços.

- Litologia x vazão dos poços - Não foi possível fazer uma relação direta dos dados de vazão com a litologia da área de estudo. Como pode ser observado, existem poços produtivos e improdutivos locados na mesma formação geológica, no entanto, é interessante notar que as formações compostas por xistos, gnaisses e metacalcários, dentre as existentes na área, são as mais favoráveis a formações de aquíferos fraturados principalmente pela ocorrência dos metacalcários, e, inclusive,

dentre os dois poços que estão locados nela, um tem vazão considerada mediana, com valor de 3m³/h (Figura 20). Embora não existam muitos poços locados nesse litotipo, essa área pode ser considerada promissora em termos de recursos hídricos subterrâneos, principalmente pela ocorrência dos metacalcários, rocha favorável à formação de aquíferos cársticos.

- Elevação (mapa hipsométrico) x vazão dos poços - A relação entre a vazão dos poços com as classes de elevação pode ser visto no Quadro 02. Verifica-se que os 11 poços com baixa vazão, 5 estão no intervalo altimétrico de 210 a 230m, enquanto os 2 poços com alta vazão estão no seguinte intervalo: 1 entre as cotas 230 a 250m e o outro entre as cotas 250 a 270m (Figura 21). Ao contrário do que se esperava, os poços com vazões consideradas baixas estão situados em intervalos de cotas bem menores do que os poços de alta vazão.

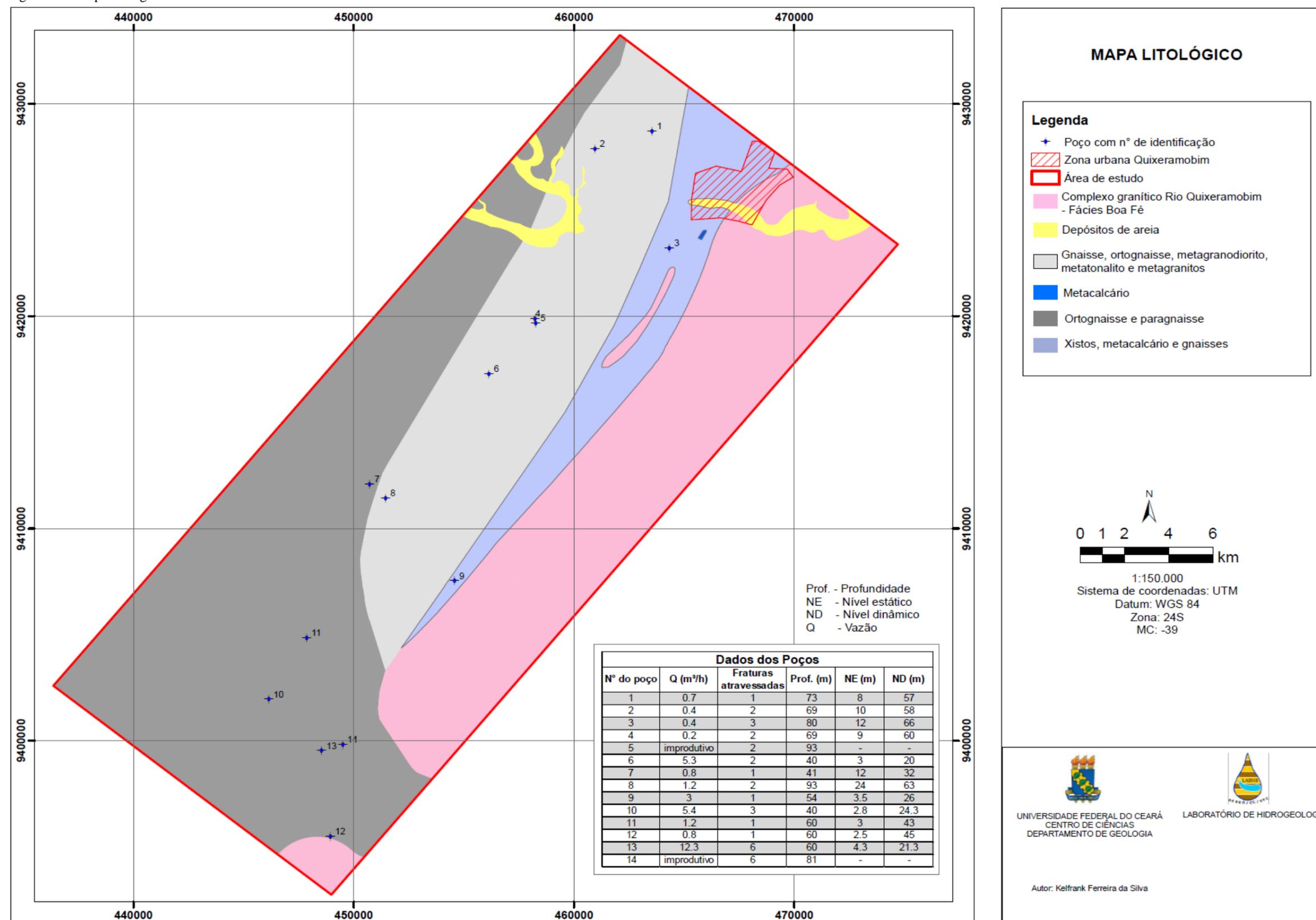
Quadro 02 – Relação entre classes de elevação e vazão dos poços.

Vazão (m ³ /h)	Classificação	Classes de elevação (m)			
		210 a 230	230 a 250	250 a 270	270 a 290
Q < 2	Baixa	5	3	2	1
2 ≤ Q ≤ 5	Média		1		
Q ≥ 5	Alta		1	1	

Fonte: Autor, 2013.

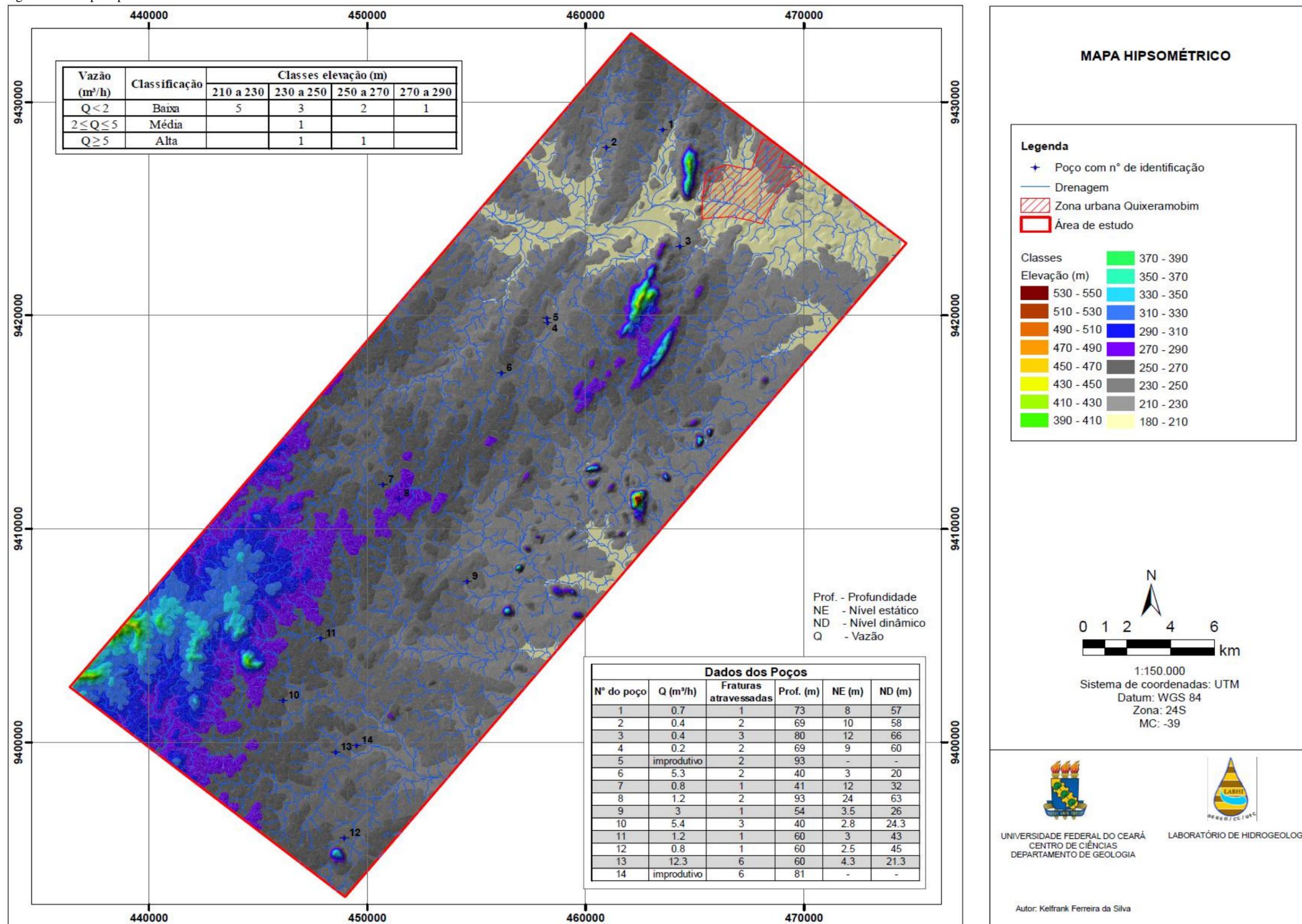
- Densidade de drenagem x vazão dos poços - Esse mapa temático forneceu resultados mais esperados, como por exemplo, é o caso dos poços 13 e 10, considerados com alta vazão, respectivamente 12,3 m³/h e 5,1m³/h, e estão posicionados nas zonas com alta densidade de drenagem. Já a maioria dos poços com baixa vazão está posicionado nas zonas com densidade de drenagem média a baixa (Figura 22).
- Densidade de lineamentos x vazão dos poços - Existem poços com boa vazão situados nas zonas de média e alta densidade de lineamentos. Os poços com baixa vazão (poços 04 e 05) também estão situados nas zonas de alta densidade de lineamentos (Figura 23). Como os lineamentos foram traçados numa escala regional, fica difícil encontrar uma relação entre a densidade de lineamentos e a vazão dos poços, no entanto, fica claro que a utilização dessa ferramenta é muito útil na seleção de áreas alvos para estudo de detalhe posterior.

Figura 20 – Mapa litológico da área de estudo.



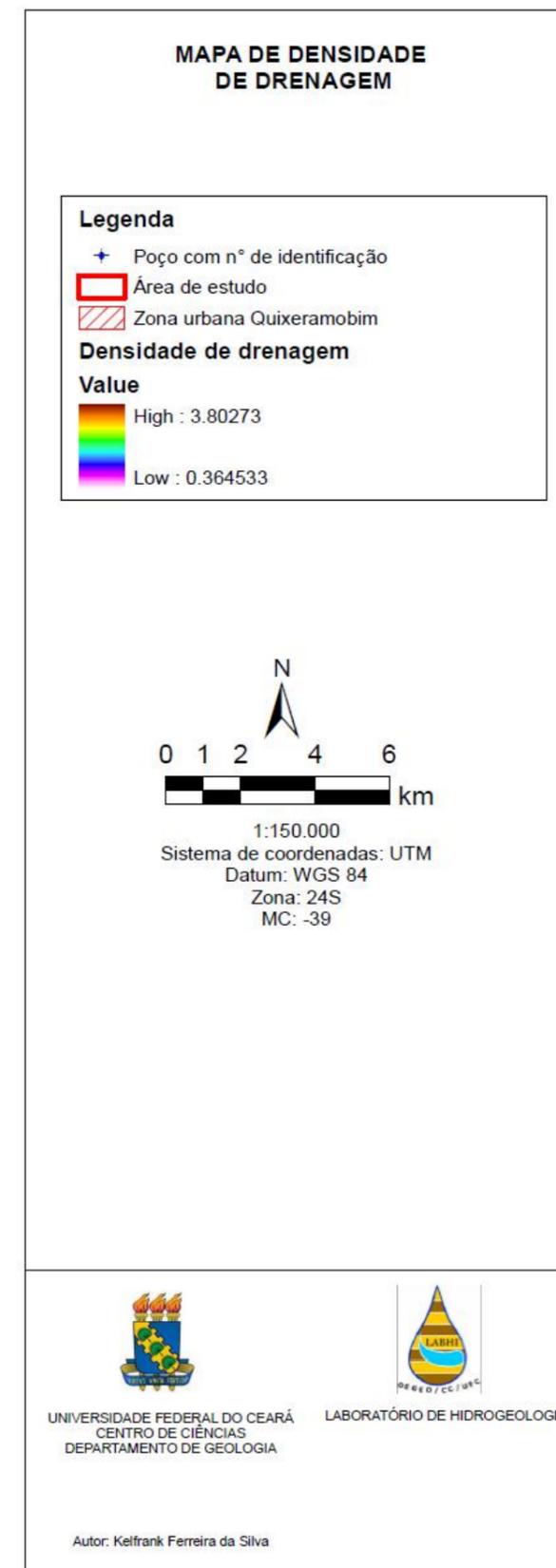
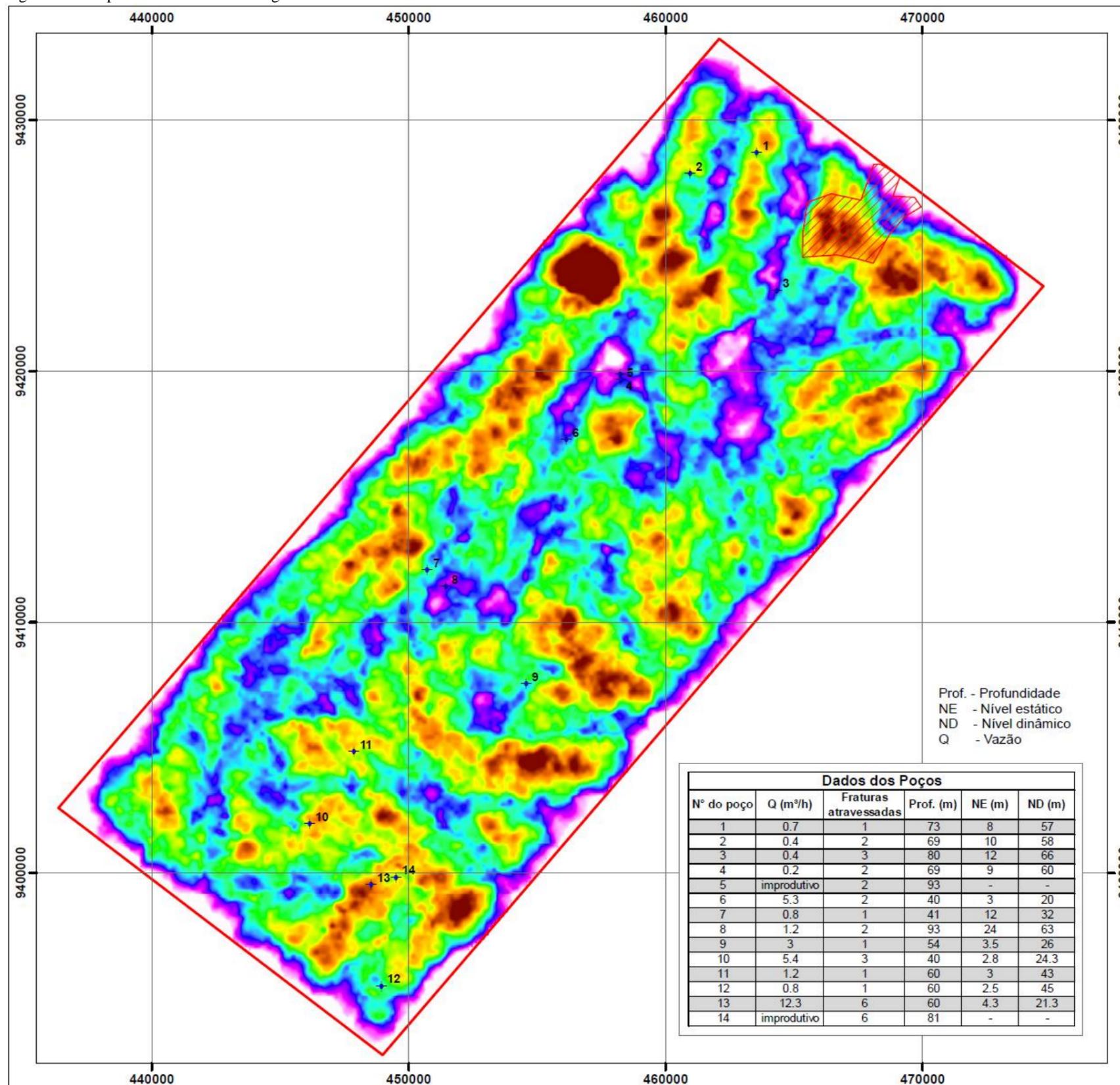
Fonte: Autor, 2013; Base cartográfica CPRM, 2007.

Figura 21 – Mapa hipsométrico da área de estudo.



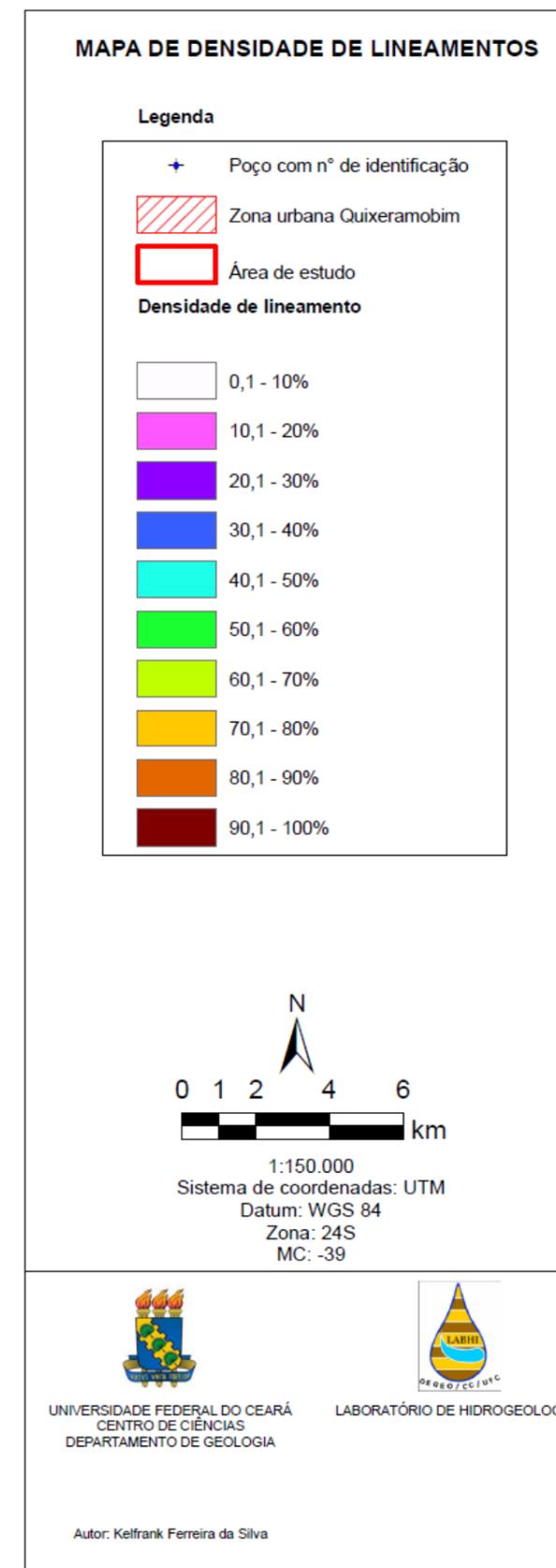
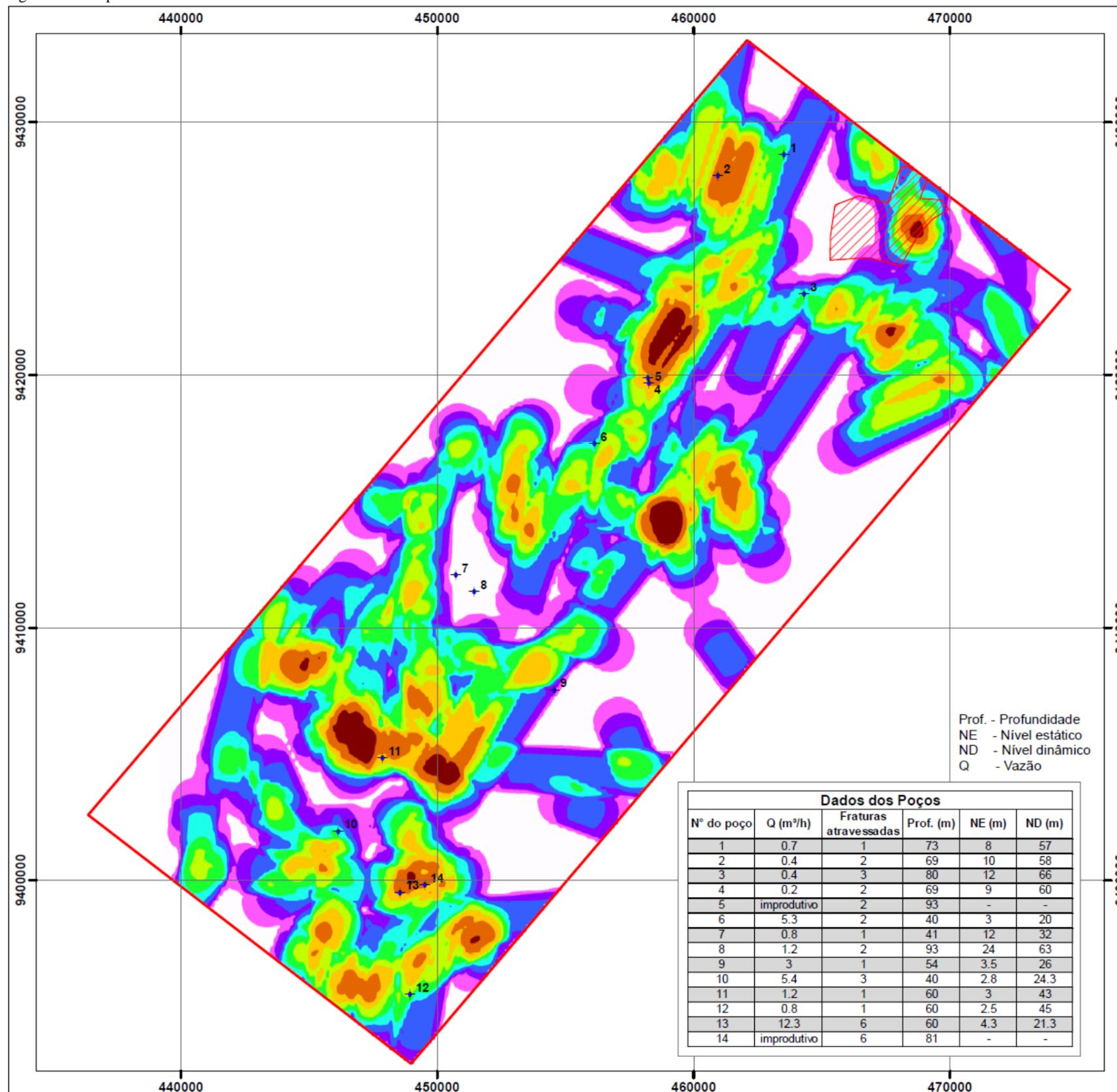
Fonte: Autor, 2013.

Figura 22 – Mapa de densidade de drenagem da área de estudo.



Fonte: Autor, 2013.

Figura 23 – Mapa de densidade de lineamentos.



Fonte: Autor, 2013.

5 FORMAS DE OCORRÊNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM TERRENOS CRISTALINOS

Este capítulo trata de uma revisão dos modelos de ocorrência da água subterrânea nos terrenos cristalinos. São modelos já consagrados na literatura e o seu entendimento servirá de base para justificar as altas vazões dos poços nesse tipo de rocha.

Os modelos Riacho-Fenda (Siqueira, 1963), Elúvio-Aluvionar (Avelino da Silva, 2000; Nascimento da Silva et al, 2001) e Bolsões ou Câmara de Intemperismo (Coriolano, 2002), principalmente o primeiro, tem sido muito utilizado na prospecção das águas subterrâneas, daí a importância da identificação desses no local onde pretende-se construir o poço.

Para identificar esses modelos, muitas vezes é necessário fazer uma análise integrada das condições geoambientais, tais como: topografia, rede de drenagem, litologia, estruturas geológicas e etc. Essas análises são feitas através do uso das imagens de satélites, fotografias aéreas, levantamento de campo e geofísica, esta última ajudará na identificação geométrica (Coriolano, 2002).

Desde a década de 60, os trabalhos de locação de poços vêm sendo realizados baseando-se quase que exclusivamente no modelo riacho-fenda (Siqueira, 1963), e certamente é o modelo mais consagrado no que diz respeito às maiores chances de obter poços com melhores vazões. No entanto, existem outros modelos (calha elúvio-aluvionar e bolsões de intemperismo) que também devem ser levados em consideração, principalmente quando não existem dados de fraturas nas rochas aflorantes que auxiliem na locação.

5.1 Modelo Riacho-Fenda

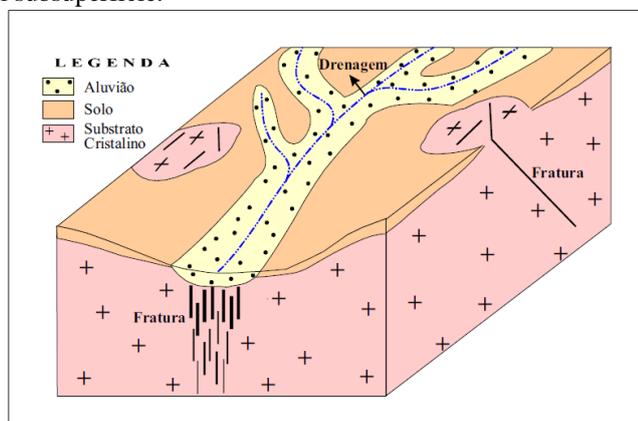
Siqueira (1963) verificou que certa fenda de vários quilômetros de extensão, verificada em fotografias aéreas, são constatadas lateralmente ou quase sempre paralelas a esta, uma série de fendas menores, de poucos quilômetros a hectômetros de comprimento; e que paralelas a estas ocorriam fendas de terceira categoria, da ordem de poucos hectômetros a decâmetros. As fendas de maior porte ele a denominou de **fendas-mestras**, que seria um bom local para pesquisa da água subterrânea em terrenos cristalinos. Ele verificou que, em muitos casos, existe a coincidência da drenagem com o fraturamento das rochas regionais e que esta seria a melhor a forma de abastecimento e preenchimento dos vazios dessas fraturas. Segundo o autor, esse tipo de ocorrência é bem frequente nas

regiões semiáridas e permite um reabastecimento periódico dos vazios, mesmo em regiões de baixa precipitação anual. Já em situações em que existe uma menor possibilidade de obtenção de água nessas rupturas, estaria relacionado com a coincidência dessa ruptura com riachos intermitentes, onde poderia existir as seguintes situações: as fendas se situariam num alto topográfico e deixariam fluir a água superficial para as partes mais rebaixada e/ou haveria a drenagem de água para outras fendas secas, ligadas àquela abastecida, através de uma rede interna.

Esse modelo é conhecido na literatura desde 1963 e tem como fundamento a ideia de que os trechos retilíneos dos riachos possam coincidir com as zonas de fraturas, permitindo que sejam periodicamente recarregadas pela drenagem (Figura 24).

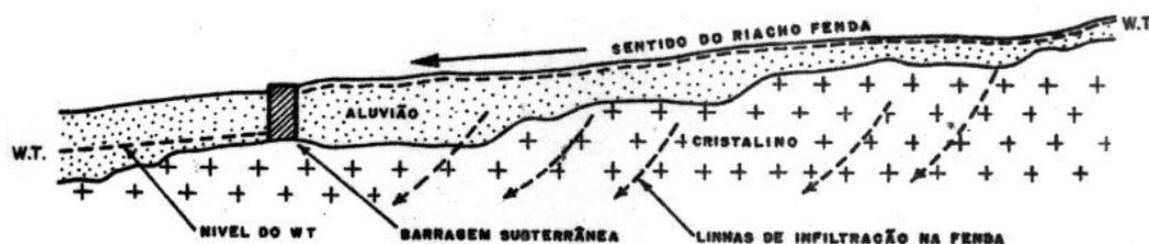
O autor ainda relata a possibilidade de reabastecimento periódico com construção de um pequeno açude à montante do poço. Esse reabastecimento seria feito através de barragens subterrâneas que poderia ser constituída de uma parede de argila que seccionaria o leito do riacho-fenda até o nível deste. A finalidade da barragem seria reter por mais tempo a água que escoo pelo riacho, dando maiores possibilidades de preenchimento de vazios, na fenda situada sob o leito (Figura 25).

Figura 24 – Modelo Riacho-Fenda. Observa-se que as fraturas são congruentes com a rede de drenagem, tanto em superfície como em subsuperfície.



Fonte: Modificado por Nascimento da Silva (2002).

Figura 25 – Barragem subterrânea com finalidade de maior retenção d'água no solo, dando possibilidades para recarga das fraturas.

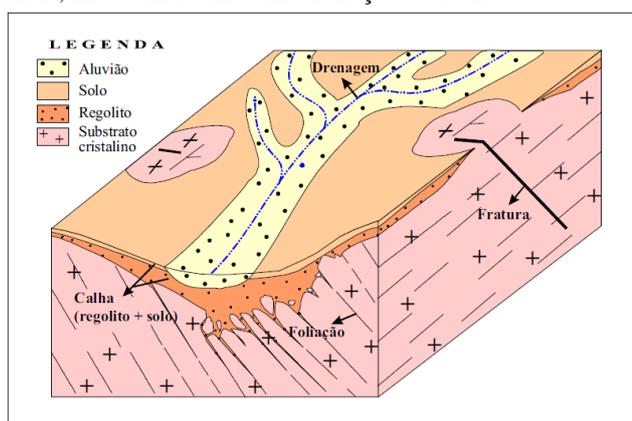


Fonte: Siqueira, 1963.

5.2 Modelo Calha Elúvio-Aluvionar

O modelo riacho-fenda é amplamente utilizado nos trabalhos de locação dos poços em terrenos cristalinos, no entanto, existem outros que não são utilizados com muita frequência, mas precisam ser levados em consideração principalmente devido existência de poços com altas vazões que foram construídos nesses tipos de modelo, como por exemplo, o modelo calha elúvio-aluvionar. Esse modelo foi proposto por Silva (2000), quando verificou que uma drenagem retilínea não correspondia, de fato, a uma zona de fraturas. Suas observações de campo foram subsidiadas por dados geofísicos que comprovaram a ausência de fraturamento na rocha. O autor verificou que havia uma calha (“mini bacia”) com uma considerada quantidade de aluvião e regolito desenvolvida e controlada pela foliação da rocha ou outro tipo de anisotropia e que os poços construídos nesse local possuíam altas vazões. Dessa forma, foi concluído que a vazão do poço estaria relacionada com um maior intemperismo atuante na foliação da rocha e, “abrindo” esta estrutura, aumentaria a porosidade e a permeabilidade da rocha e, conseqüentemente, permitiria o acúmulo de água (Figura 26). Uma maior quantidade de aluvião e de rocha alterada também aumentaria a área de recarga.

Figura 26 – Modelo Elúvio-Aluvionar. Observa-se que direção das drenagens não corresponde com as direções das fraturas em superfície, mas coincidem com a foliação da rocha.



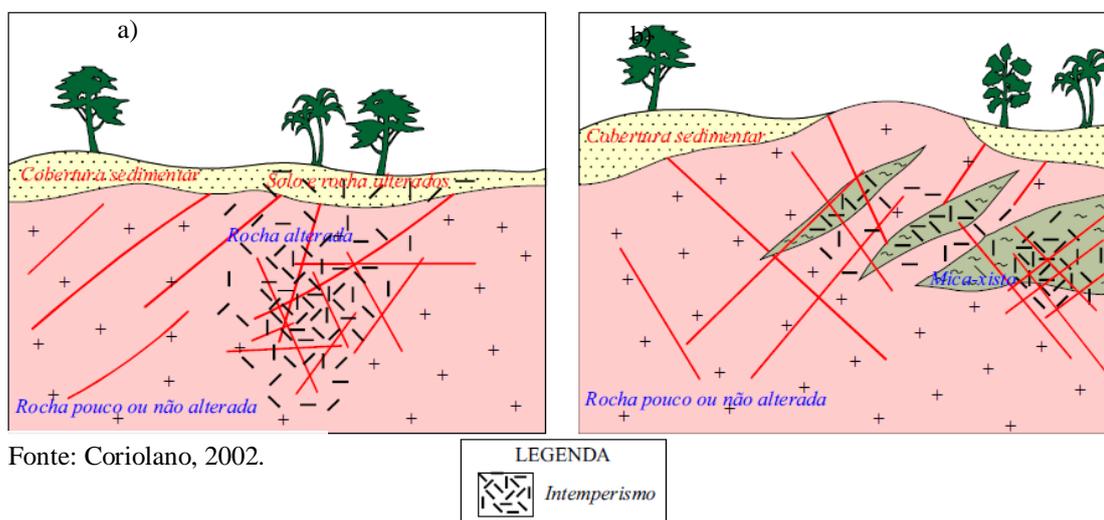
Fonte: Modificado por Nascimento da Silva, 2002.

5.3 Modelo Bolsões ou Câmaras de Intemperismo

Em subsuperfície, o comportamento das fraturas e de outros tipos de discontinuidades (litologia diferenciada, por exemplo), juntamente com a ação do intemperismo, também constituem um fator importante para infiltração e circulação da

água subterrânea, pois em regiões densamente fraturadas haveria uma tendência a um acentuado intemperismo, e conseqüentemente, um aumento da porosidade e permeabilidade da rocha. Outra situação desse tipo pode ocorrer também quando o intemperismo atua de forma diferenciada diante de um litologia diferenciada, que seja mais susceptível a ação dos intempéries. Como consequência, é o desenvolvimento de bolsões ou câmaras de intemperismo em subsuperfície (Coriolano, 2002), contribuindo para as altas vazões dos poços, quando atravessam esses materiais (Figura 27).

Figura 27 – Modelo Bolsões ou Câmara de Intemperismo. Em superfície, as regiões densamente fraturadas, o intemperismo é mais atuante, aumentando a porosidade da rocha (a). Modelo caracterizado por uma diferença de litologia, onde uma litologia é mais susceptível ao intemperismo do que a outra, aumentando a porosidade (b).



Fonte: Coriolano, 2002.

6 ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

O presente capítulo é dedicado à caracterização geoambiental numa escala de maior detalhe, nos locais onde estão construídos os poços. Pretende-se de forma rápida e com baixo custo, sem perder de vista as limitações, propor situações que melhor identifiquem as áreas com grandes possibilidades de ocorrência de um bom aquífero cristalino.

Foram analisados 14 poços com dados de vazão, todos com coordenadas de localização, níveis estático e dinâmico, profundidade e com perfil construtivo.

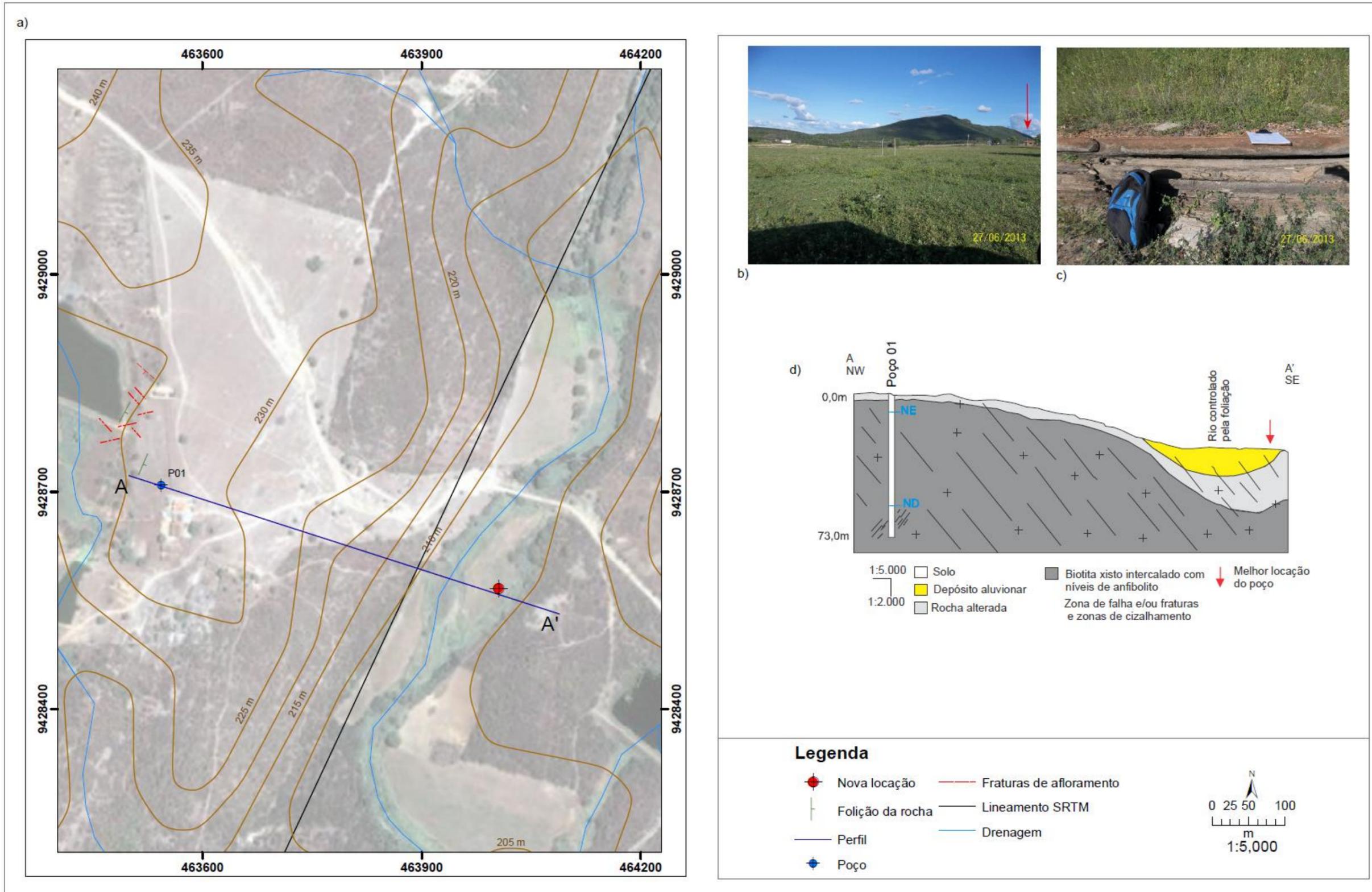
O intervalo utilizado como “baixo” tem vazão menor que $2,0\text{m}^3/\text{h}$; o intervalo “médio” tem vazão maior ou igual a $2,0\text{m}^3/\text{h}$ e menor que $5,0\text{m}^3/\text{h}$ e o intervalo alto têm vazão maior ou igual a $5,0\text{m}^3/\text{h}$.

6.1 Análise do Poço 01

O poço está situado na fazenda Ramalhete, tem vazão $0,7\text{m}^3/\text{h}$, situa-se num alto topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

As rochas aflorantes nas proximidades possuem *trend* N23E 50SE em quanto que as fraturas possuem direção N42W 75SW e N70E. Nessa localidade é possível verificar que os planos de foliação estão bem mais abertos (intemperizados) do que as fraturas e que a drenagem possui a mesma direção da foliação, podendo se tratar de um rio controlado pela foliação. Embora o poço tenha atravessado uma zona de fratura (entrada d'água) numa profundidade de 64,0 metros sua vazão ainda é baixa. Na locação desse poço foram desconsideradas outras características hidrogeológicas existentes na área, tais como: superfície do manto de intemperismo situada na zona de recarga, que pode tratar-se de um modelo calha elúvio-aluvionar. No perfil esquemático é possível identificar uma melhor locação para o poço (Figuras 28a, b, c, d).

Figura 28 – Mapa de localização do poço (a). Vista geral da Fazenda Ramalhete, local onde foi construído o poço (b). Gnaiss com abertura entre os planos da foliação (c) e Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).



Fonte: Autor, 2013.

6.2 Análise do Poço 02

O poço está situado na Fazenda Graciosa, tem vazão $0,4\text{m}^3/\text{h}$, está situado num médio topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

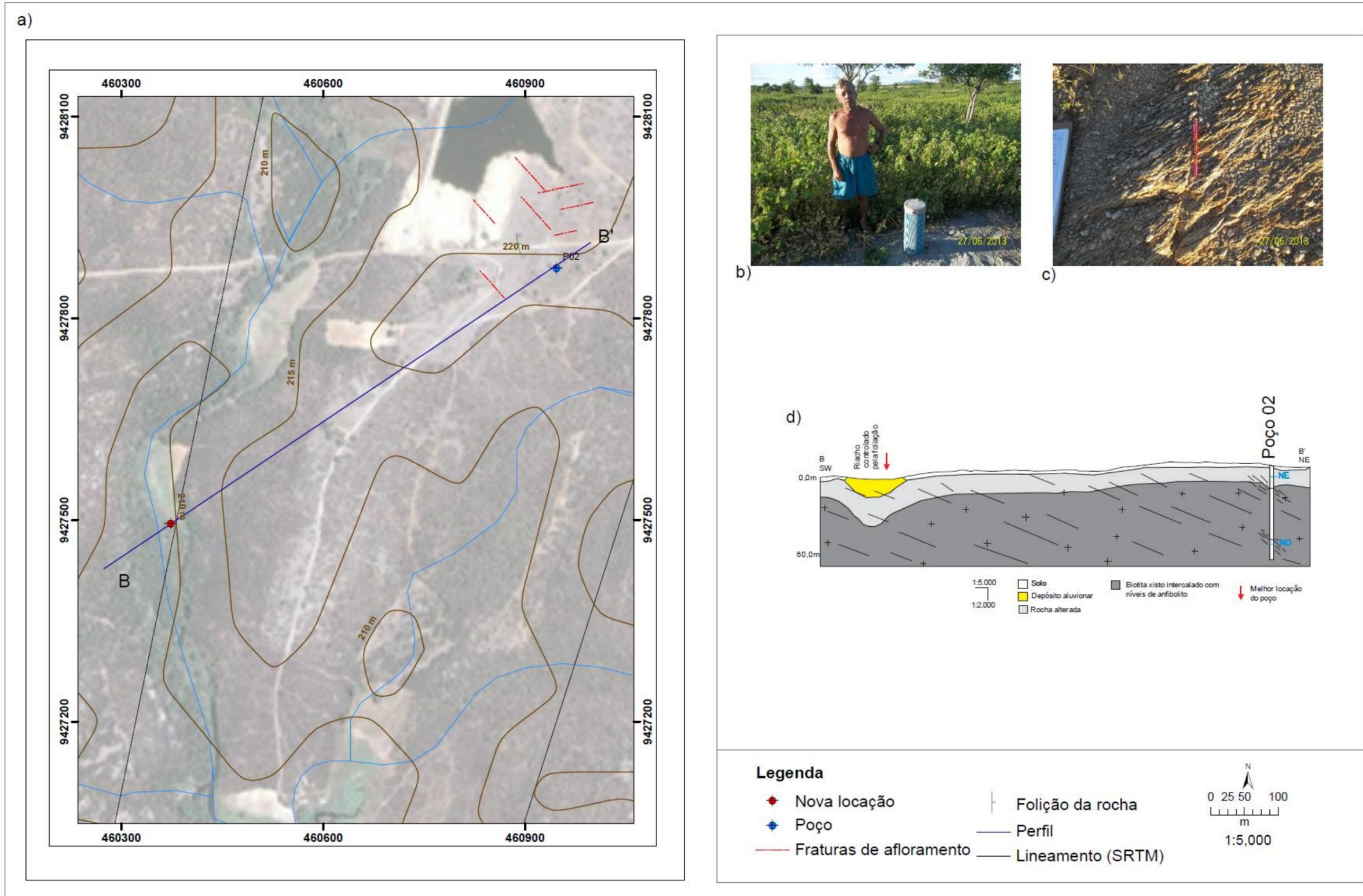
Embora o poço esteja situado num médio topográfico e tenha interceptado duas zonas de fraturas (entradas d'água), sua vazão é considerada muito baixa e isso se deve ao local que quase não existe recarga. Trata-se de uma área difícil de ter poços com boas vazões, no entanto, quando se faz uma integrada dos fatores hidrogeológicos as chances de uma boa locação aumentam. No local existe gnaisses com direção N12W 20NE com fraturas nas direções N42W e N70E. Nota-se que, aproximadamente 700m rumo sudoeste do local onde está locado o poço, existe uma drenagem de direção N10W coincidindo exatamente com a direção da foliação analisada nos afloramentos, podendo se tratar de um modelo calha elúvio-aluvionar (Figuras 29a, b, c, d).

6.3 Análise do Poço 03

O poço analisado está situado no distrito Sossego, mas precisamente na localidade Estádio, tem vazão $0,4\text{m}^3/\text{h}$, está num alto topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

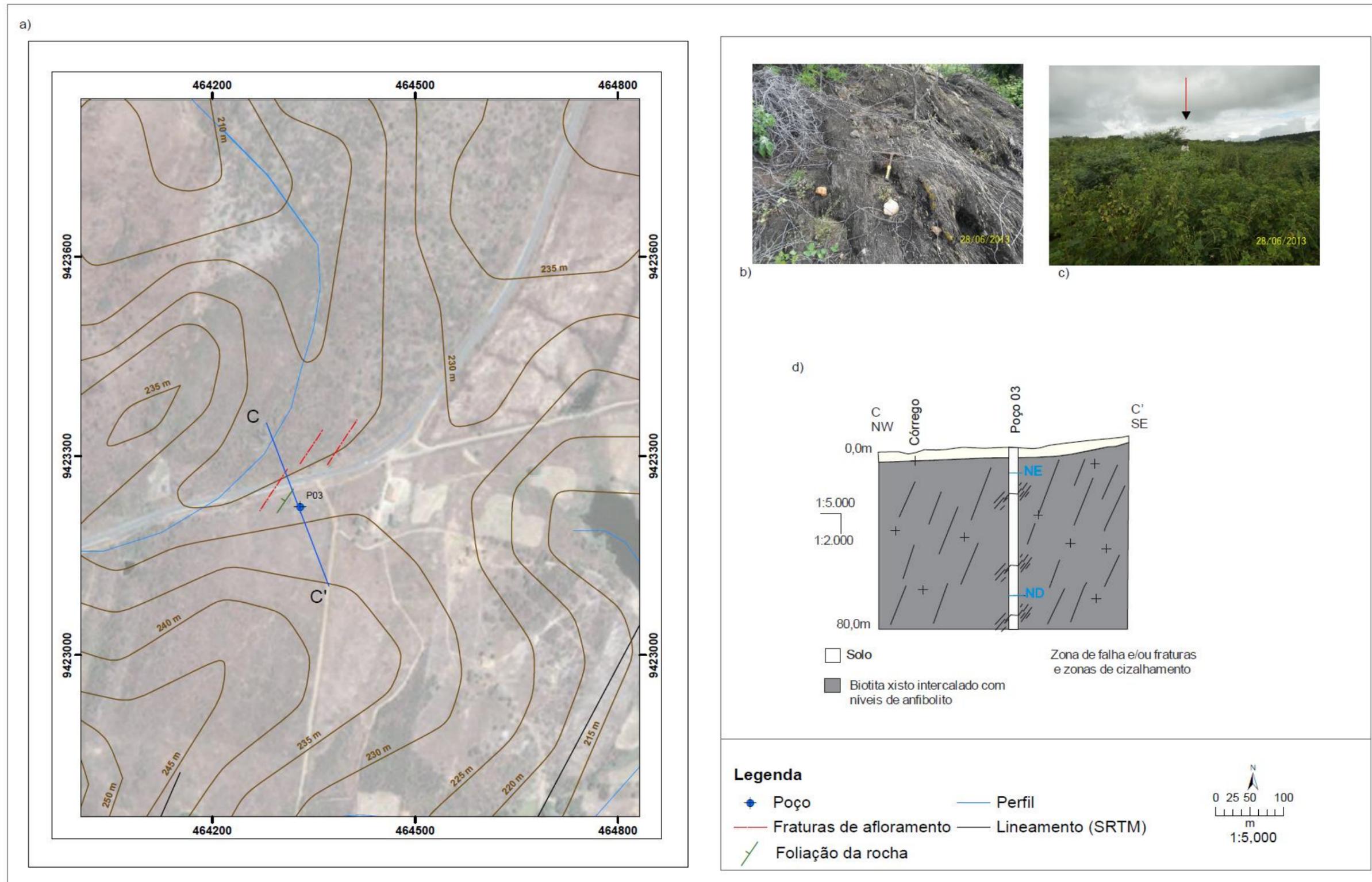
Analisando as condições hidrogeológicas da área pode se observar a inexistência de uma drenagem superficial, de uma superfície do manto de alteração e afloramentos com ausência de fraturas. Ocorrem apenas alguns níveis cavernosos com direção N50E 70NW, paralelos a foliação da rocha. Embora o poço tenha atravessado três zonas de fraturas (entradas d'água), sua vazão ainda é considerada muito baixa e isso se deve a vários fatores, principalmente a ausência de zonas de recargas. As fraturas interceptadas pelo poço podem ser pequenos bolsões ou câmaras de intemperismo controladas pela foliação (Figuras 30a, b, c, d). Esse modelo de perfil mostra a eficiência da geofísica na detecção de zonas fraturadas em subsuperfície, no entanto, não foram levados em consideração às características hidrogeológicas e estruturais de superfície e conseqüentemente acabou encontrando fraturas com pouca ou nenhuma recarga hídrica.

Figura 29 – Mapa de localização do poço com indicação de uma nova localização (a). Vista geral do local onde foi construído o poço (b). Gnaisses com presença de fraturas (c) e Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).



Fonte: Autor, 2013.

Figura 30 – Mapa de localização do poço (a). Gnaisses com abertura entre os planos de foliação (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c) e Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).



6.4 Análise dos Poços 04 e 05

Os poços estão situados na localidade Alegre. O poço 04 tem vazão 0,2m³/h, está inserido num baixo topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso. O poço 05 é improdutivo e está localizado num alto topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

O poço 05 interceptou maior número de fraturas, todas sem entradas d'água, classificando-o como improdutivo. Ainda que a zona de fratura situada a 48m de profundidade contivesse água, o poço estaria interceptando a mesma fratura do poço 04, reduzindo ainda mais as vazões dos mesmos. Verifica-se a má locação dos poços, principalmente por falta de uma análise geológico-estrutural na localidade. No local existe uma rede drenagem onde parte de seu curso está controlado pela foliação (N28E) e também pelas fraturas N48E. Uma boa locação seria a 700m rumo NE, onde pode haver um riacho fenda (Figuras 31a, b, c, d).

6.5 Análise do Poço 06

O poço está situado na localidade Bezerro Porto Seguro, tem vazão de 5,3m³/h (considerada alta), localizado num baixo topográfico, com existência de vegetação e com solo relativamente espesso.

Esse é o tipo de locação que pode ser considerada bem sucedida, principalmente nesse município onde a maioria dos poços tem vazão inferior a 2m³/h. Segundo os dados do perfil geológico do poço, não houve secção de fraturas. Na análise de campo foram verificados vários fatores que contribuíram para a boa vazão do poço, foram eles:

- Litologia – diferentemente do que foi observado até o momento, houve mudanças no tipo litológico, rochas anfibolíticas ocorriam nas proximidades.
- Zonas extremamente fraturas associados ao intemperismo mais acentuado – nesse caso, os anfibolitos apresentavam-se fraturados e também intemperizados (Figura 32b).
- Presença de zonas de recargas – a distância do poço é bem próxima a uma zona de recarga (riacho fenda), que de certa forma pode ocorrer um fluxo da água subterrânea através dessas zonas fraturada (Figura 32a, b, c, d).

Figura 31 – Mapa de localização do poço (a). Vista geral do local onde foi construído o poço 04 (b). O poço 05 possui um toco de madeira com objetivo de vedar o furo (c) e Perfis esquemáticos com indicação dos dois poços construídos e com indicação do melhor local para construção do poço (d).

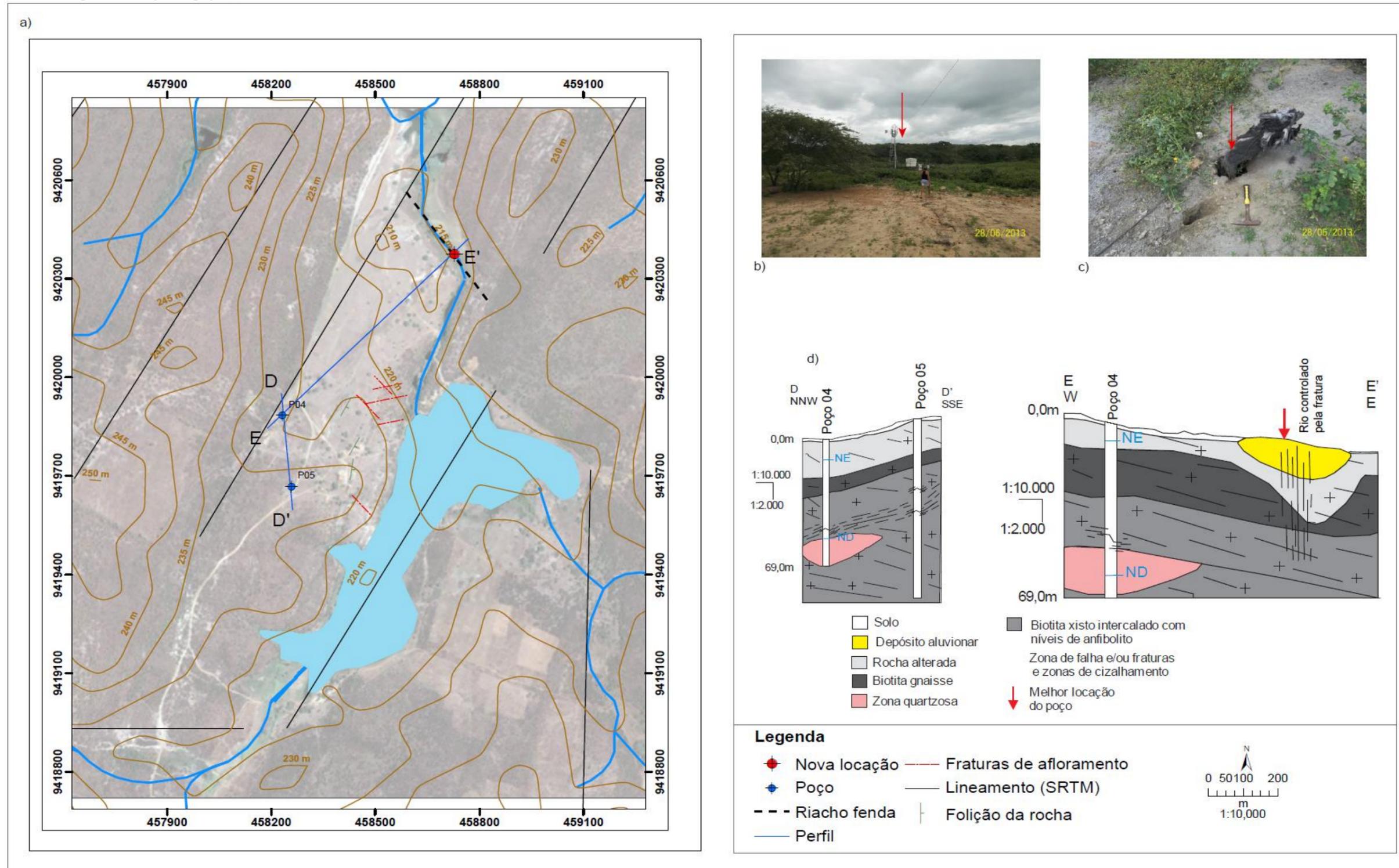
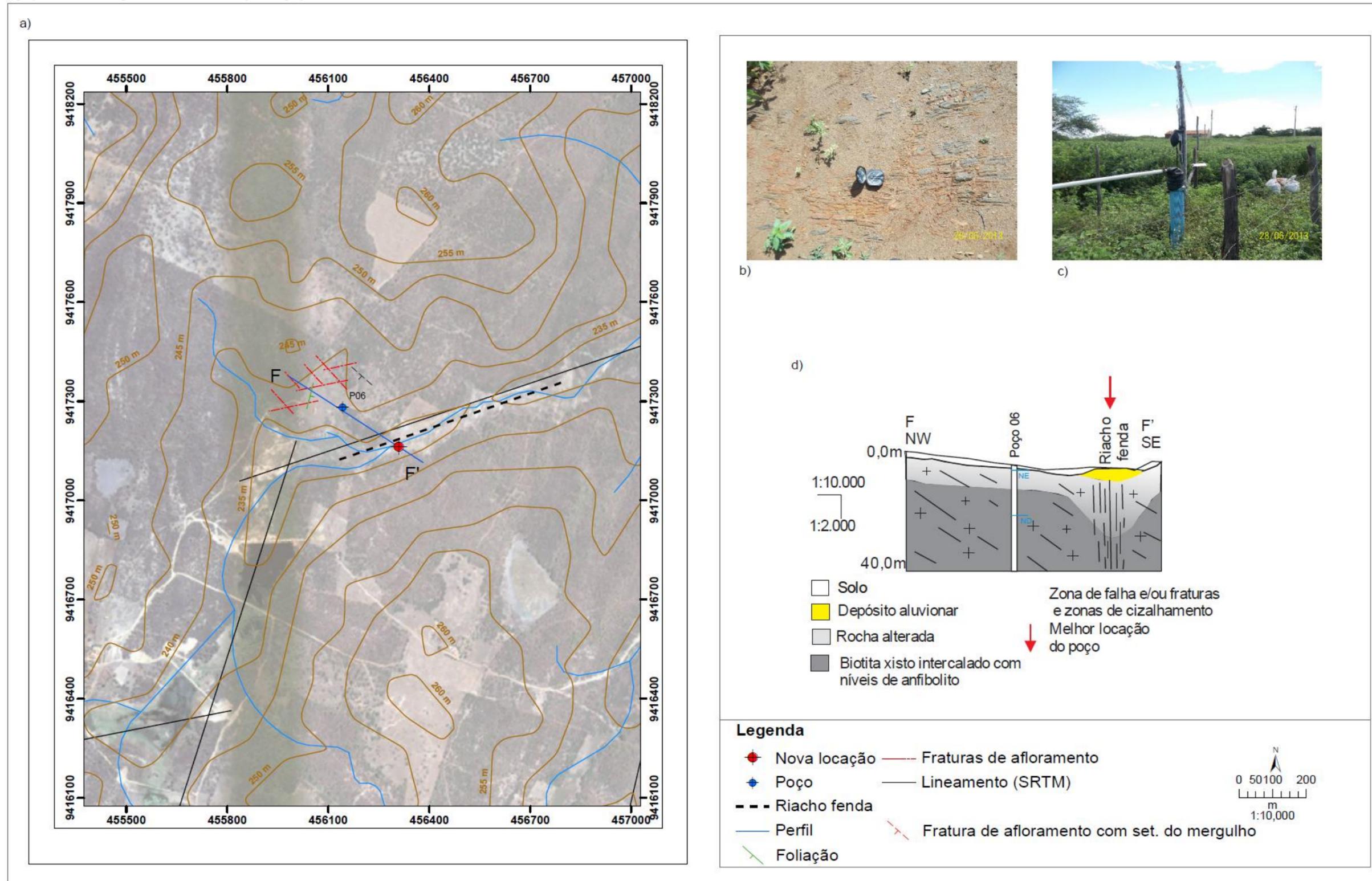


Figura 32 – Mapa de localização do poço (a). Anfibólito fraturado e intemperizado (b). Visão geral do local onde foi construído o poço (c); Perfil esquemático com indicação do poço construído (d).



Fonte: Autor, 2013.

6.6 Análise do Poço 07

O poço está situado na localidade de Carauno, possui vazão de 0,8m³/h (considerada baixa), localizado num alto topográfico, com inexistência de vegetação e com solo relativamente espesso.

A área é cortada por um riacho constituído por segmentos de direções distintas (N-S, NE-SW e W-E). Não foram encontrados afloramentos próximos ao poço, no entanto, o segmento da drenagem de direção W-E pode está sendo controlado por fraturas, visto que esta direção de fratura já foi encontrada nas proximidades dos poços supracitados. A baixa vazão do poço 07 pode ser justificada pela falta de recarga, tal afirmação pode ser vista no perfil, onde é possível verificar que, ainda que se houvessem conexões entre a fratura interceptada pelo poço e a drenagem existente no local, o fluxo da água subterrânea teria sentido para sudoeste, isto é, fluiria do poço (topograficamente mais alto) para a drenagem (topograficamente mais baixo), devido o desnível topográfico. Uma boa locação para esse poço seria próximo ao possível riacho-fenda, que além de possuir uma maior espessura de manto de intemperismo, estaria periodicamente sendo recarregado pela drenagem superficial (Figuras 33a, b, c).

6.7 Análise do Poço 08

O poço está situado na localidade Mosquito dos Morreiros, possui vazão de 1,2m³/h (considerada baixa), está localizado num alto topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

A área é constituída por um alto topográfico que funciona como um divisor de águas superficiais. Trata-se de um lugar nada favorável para formação de aquífero fraturado, no entanto, através do estudo da geofísica foram encontradas duas fraturas (entradas d'águas) que justificam essa vazão. Próximo ao poço, não foram encontrados afloramentos, mas uma faixa composta predominantemente por quartzo leitoso com direção N28E ocorre no local (34a, b, c, d). Essa faixa é um indício da existência de zonas de cisalhamento que estaria contribuindo para o fraturamento da rocha no local, aumentando sua porosidade e permeabilidade, mas, seria necessária a coleta de mais dados de campo para confirmação dessa idéia.

6.8 Análise do Poço 09

O poço está situado na Fazenda Vista Alegre, próximo a escolinha de 1º Ester Saraiva, possui vazão de 3,0m³/h (considerada mediana), está localizado num baixo topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

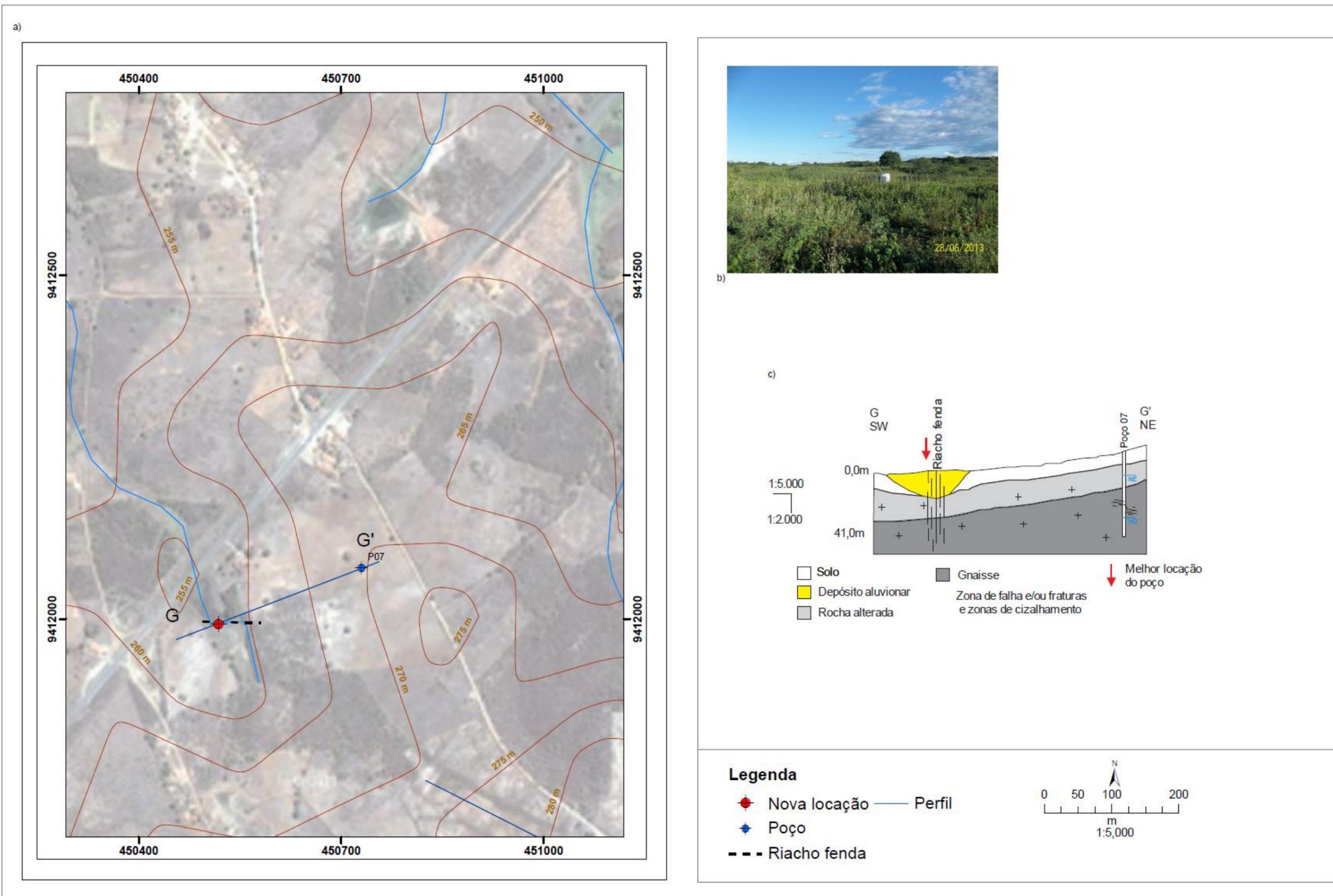
A área é constituída por uma rede de drenagem com vários trechos na direção E-W, coincidindo com as direções das fraturas levantadas nos afloramentos. No local ocorre biotita-gnaiss localmente dobrados com direção da foliação disposta preferencialmente na direção N40E, com mergulho de 85 graus para sudeste.

Trata-se de um local favorável a ocorrência de águas subterrâneas devido a vários fatores, tais como:

- A foliação da rocha possui mergulho subvertical, podendo se tratar de uma zona de cisalhamento. Essa zona estaria condicionando o intenso fraturamento na litologia local.
- Considerando que o campo de tensão principal (σ_1) tem direção E-W para a maioria do interior do Nordeste Brasileiro, então as fraturas com essa orientação estariam se comportando como juntas de distensão (fraturas abertas), contribuindo para a formação de aquíferos fraturados. A ocorrência de diversos riachos-fenda no local é mais um indício de que a área possa está intensamente fraturada.

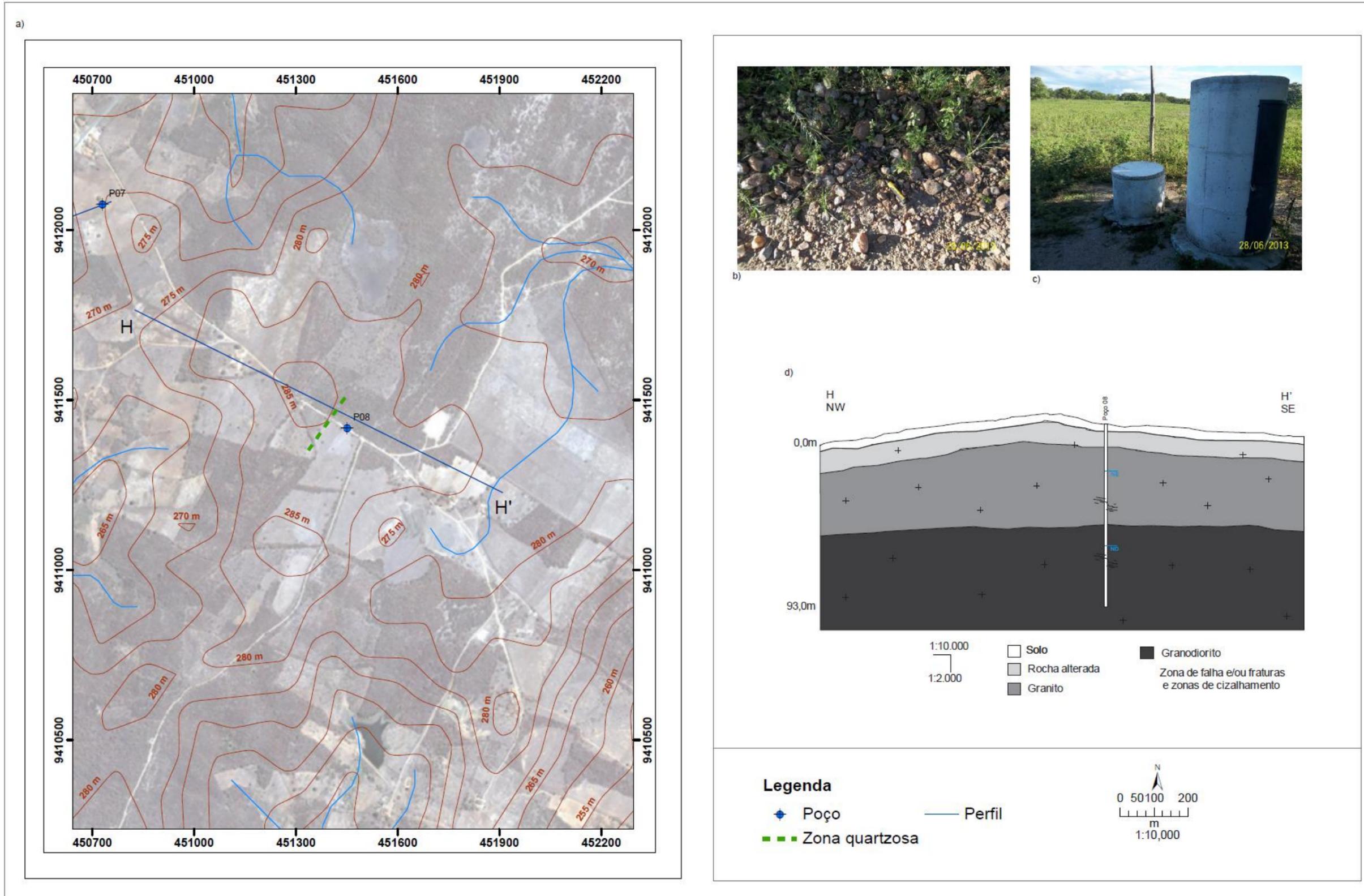
No perfil esquemático é possível visualizar o local onde foi construído o poço, podendo se tratar de um de aquífero do tipo calha elúvio-aluvionar. Uma melhor locação, a fim de obter melhores resultados de vazão seria sobre o riacho fenda (Figuras 35a, b, c, d).

Figura 33 – Mapa de localização do poço (a). Visão geral do local onde foi construído o poço (b). Perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (c).



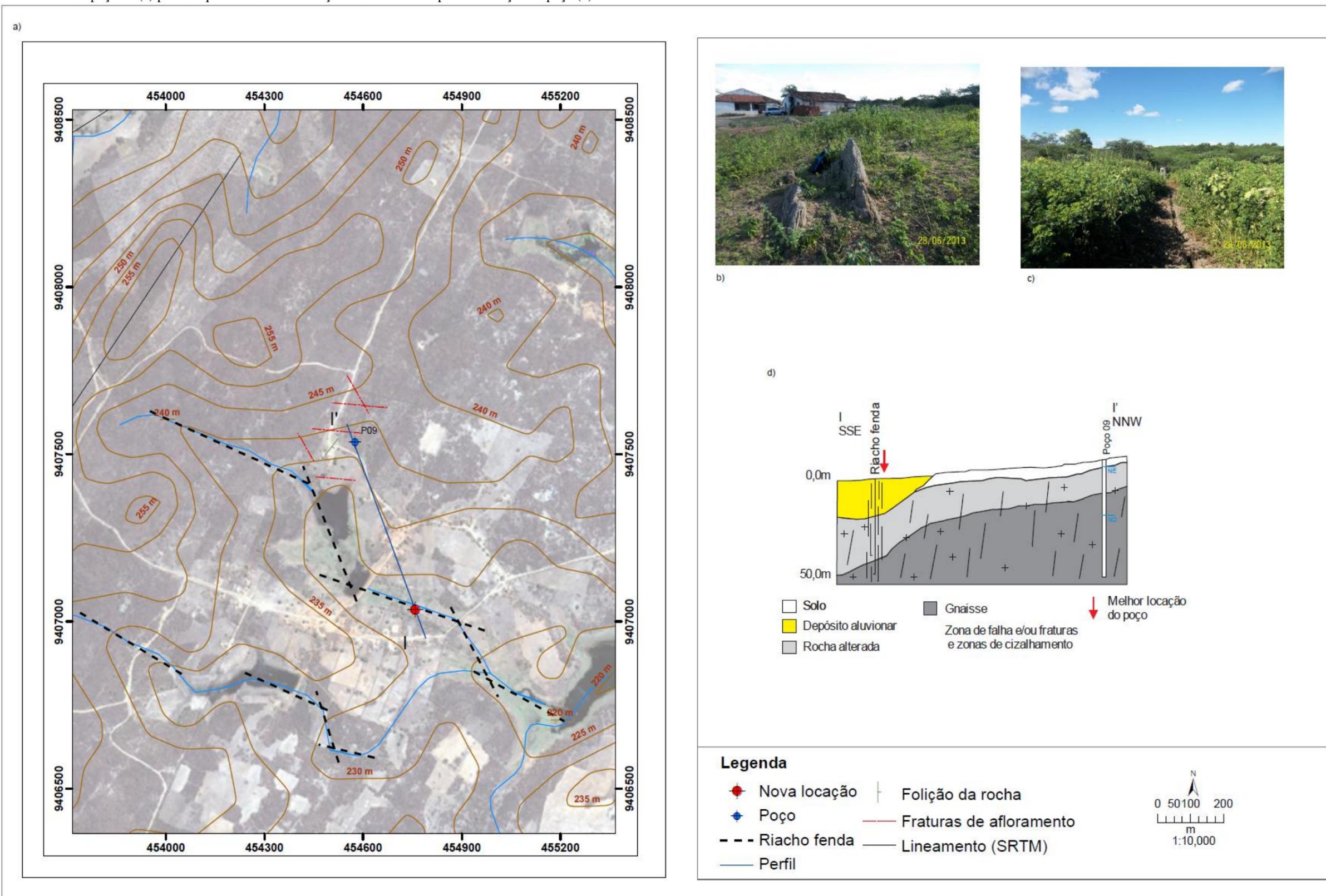
Fonte: Autor, 2013.

Figura 34 – Mapa de localização do poço (a). Zona quartzosa (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c) e perfil esquemático com indicação do poço construído (d).



Fonte: Autor, 2013.

Figura 35 – Mapa de localização do poço (a). Biotita-gnaiss com mergulho da foliação subvertical (b). Vista geral do local onde foi construído o poço 09 (c) perfil esquemático com indicação do melhor local para construção do poço (d).



Fonte: Autor, 2013.

6.9 Análise do Poço 10

O poço está situado no distrito de Oiticica, possui vazão de 5,4m³/h (considerada alta), está localizado num médio topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

No local ocorrem gnaisses migmatitos localmente dobrados com foliação na direção N80W e mergulhando 15NE. A rede de drenagem ocorre nas diversas direções (NE-SW, N-S, NW-SE e E-W) com destaque para a direção E-W. Nota-se que existe um controle da drenagem coincidente com a direção da foliação, podendo está contribuindo para formação do modelo calha elúvio-aluvionar. Embora o poço construído possua uma boa vazão, não houve interceptação de fraturas, no entanto, existe um espesso manto de intemperismo (solo mais rocha alterada) que estão contribuindo para formação de uma porosidade e permeabilidade na rocha, sendo constantemente recarregada pela drenagem superficial (Figuras 36a, b, c, d).

6.10 Análise do Poço 11

O poço está situado na localidade de Viração, possui vazão de 1,2m³/h (considerada baixa), está localizado num baixo topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

Na área ocorrem gnaisses com intercalações centimétricas de anfíbolitos, com foliação na direção N18E mergulhando 50SE e fraturas na direção N30W com mergulho subvertical. A rede de drenagem possui diversas direções (NE-SW, NW-SE, N-S e E-W) com destaque para N30W, coincidindo com as direções das fraturas dos afloramentos. É possível observar um forte controle estrutural, principalmente pelas fraturas (modelo riacho-fenda), na formação dos cursos d'água superficiais, que pode está influenciando diretamente no fluxo hídrico subterrâneo. Embora o poço tenha interceptado uma zona de fratura com 37 metros de profundidade e tenha sido locado próximo à ocorrência do modelo riacho fenda, sua vazão ainda é considerada baixa. Essa é uma das problemáticas do modelo riacho-fenda, isto é, a necessidade de uma locação precisa sobre a fratura, principalmente quando seu plano de mergulho é vertical ou subvertical. Um bom local para construção do poço, a fim de obter maiores zonas porosidade e permeabilidade na rocha seria sobre o riacho fenda (Figuras 37a, b, c, d).

6.11 Análise do Poço 12

O poço está situado na localidade Serra D'água, na Escolinha Mãe Rosinha. Sua vazão é de 0,8m³/h (considerada baixa), está situado num baixo topográfico, com inexistência de vegetação e com solo pouco espesso.

No local ocorrem gnaisses intemperizados com foliação na direção E-W com mergulho 20S e fraturas nas direções N65W, N40E e N35W. Nas proximidades do poço existem segmentos da rede de drenagem nas direções NW e NE, coincidindo com as direções das fraturas levantadas em campo, podendo se tratar de um modelo riacho-fenda. O poço foi construído nas proximidades do segmento da drenagem de direção NW e atravessou somente uma fratura com 29m de profundidade (Figuras 38a, b, c, d).

Esse caso mostra que a locação, através da geofísica, levou em consideração o modelo riacho-fenda e ainda assim obteve um poço com baixa vazão. Desse modo, os fatores que podem justificar essa vazão são os seguintes:

- Considerando que a direção do tensor deformacional σ_1 é aproximadamente E-W, então a fratura NW deve estar se comportando como par cisalhante, isto é, uma fratura fechada;
- A falta de uma boa recarga hídrica é outro fator que pode estar contribuindo para essa vazão.
- A falta de uma locação precisa sobre a fenda, isto é, se houvesse um deslocamento do poço para o local onde está a zona de fratura, poderia aumentar haver um aumento da vazão.

Figura 36 – Mapa de localização do poço (a); Biotita-gnaiss migmatito localmente dobrado (b); Vista geral do local onde foi construído o poço (c), e perfil esquemático com indicação do local onde o poço foi construído (d).

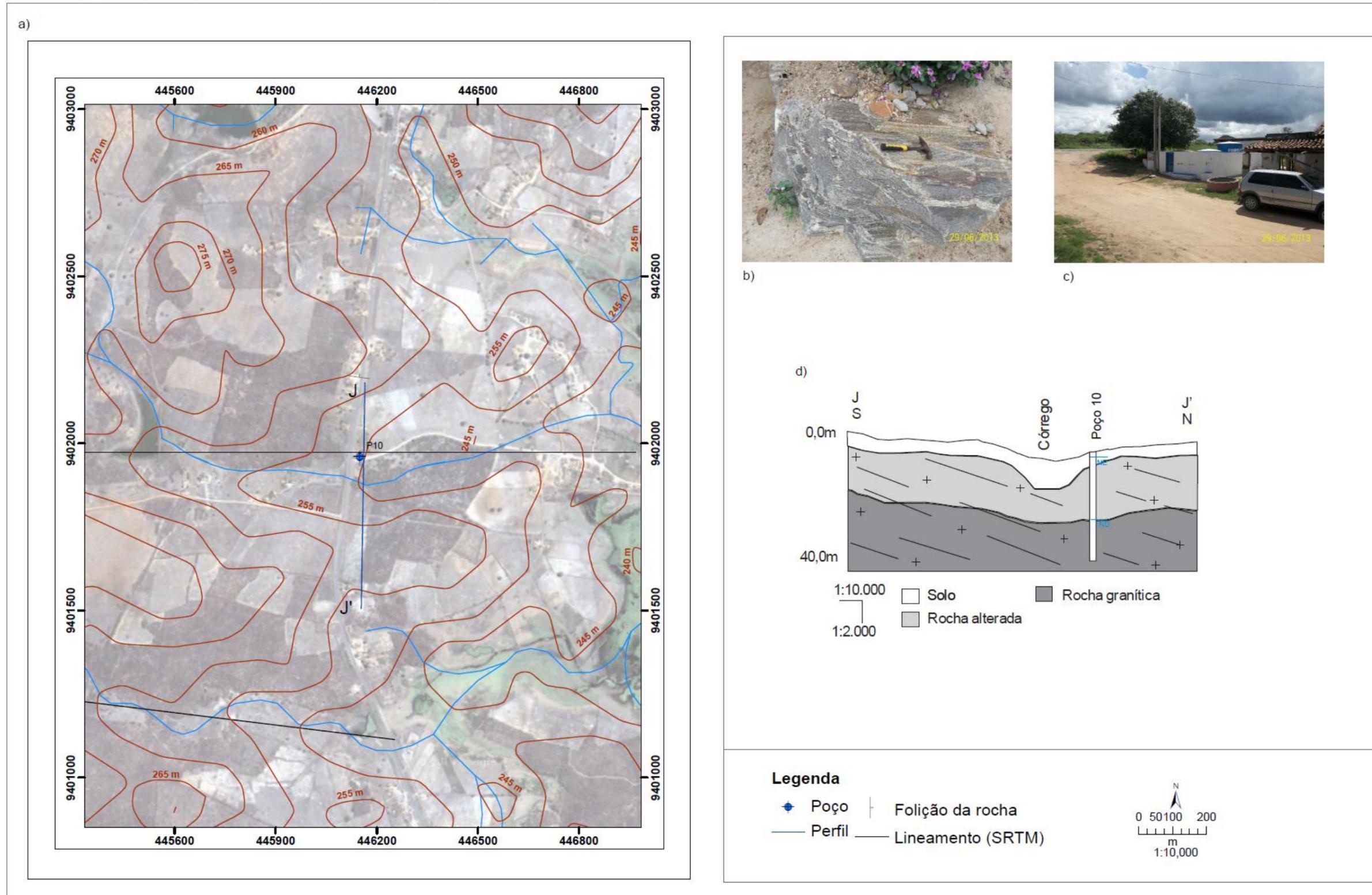
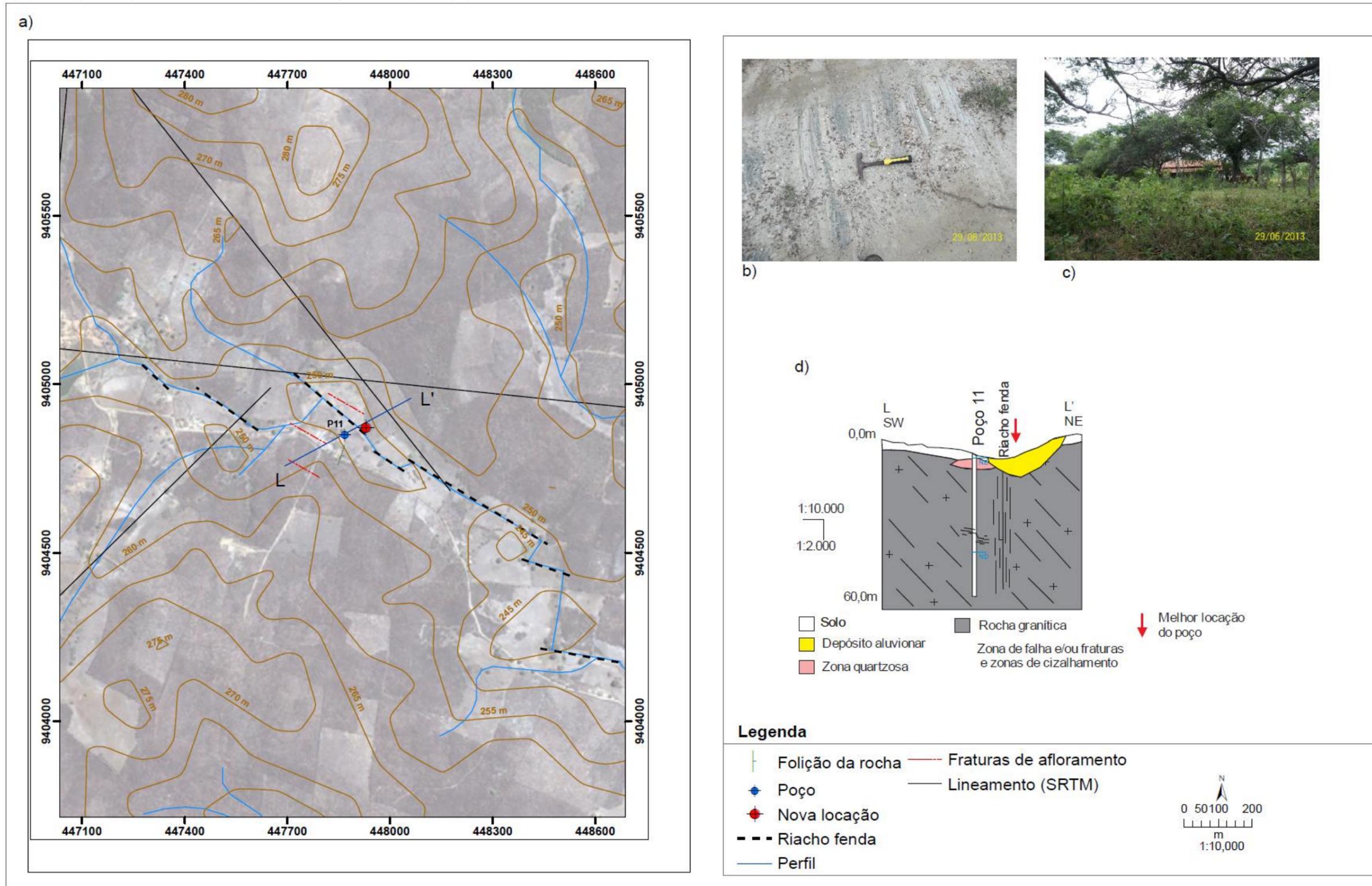
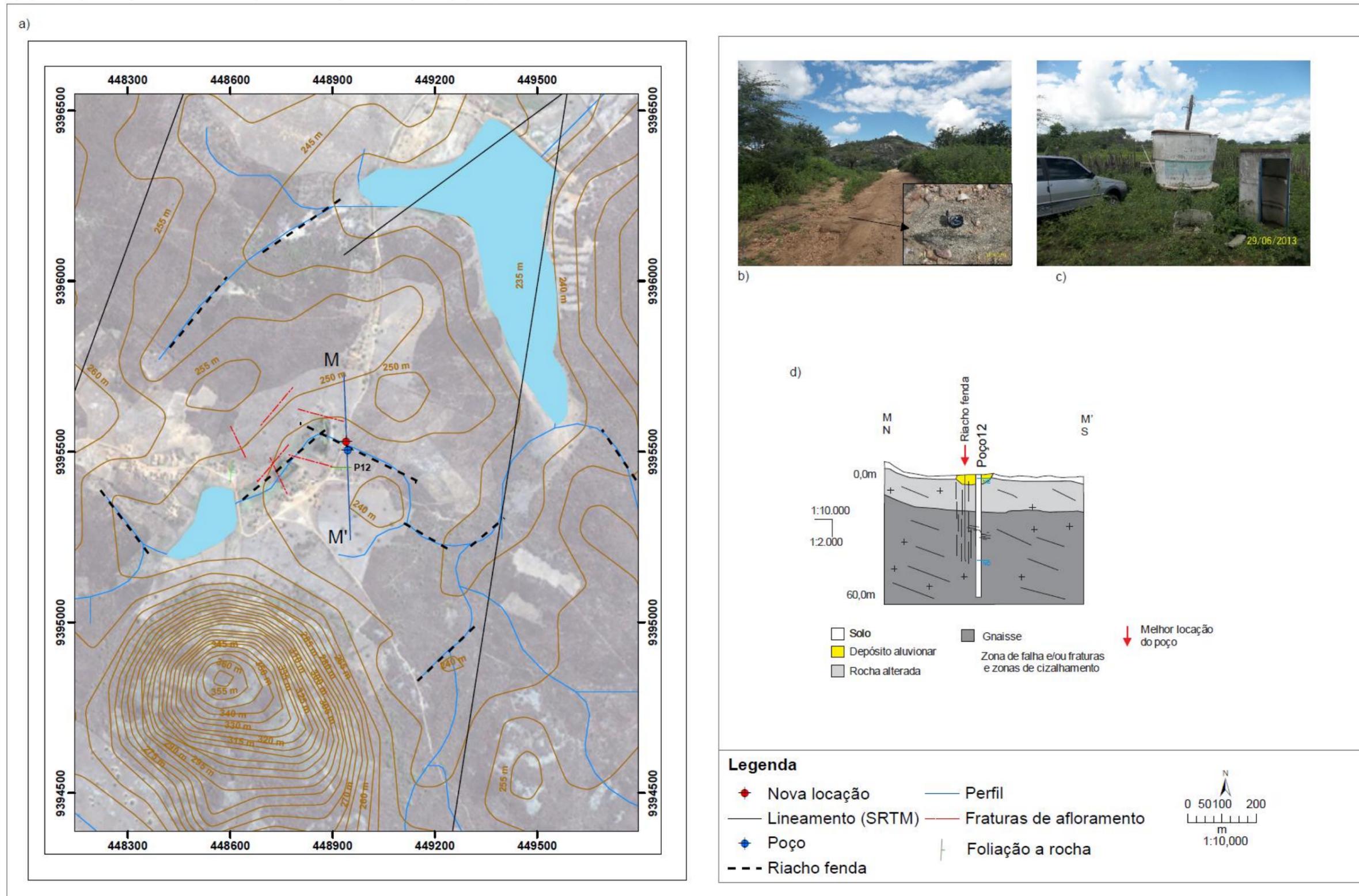


Figura 37 – Mapa de localização do poço (a). Gnaiss com intercalação de anfibólito (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c), e perfil esquemático com indicação do melhor para construção do poço (d).



Fonte: Autor, 2013.

Figura 38 – Mapa de localização do poço (a); Gnaiss com intercalação de anfibólito (b). Vista geral do local onde foi construído o poço (c), e perfil esquemático com indicação do melhor para construção do poço (d).



Fonte: Autor.

6.12 Análise dos Poços 13 e 14

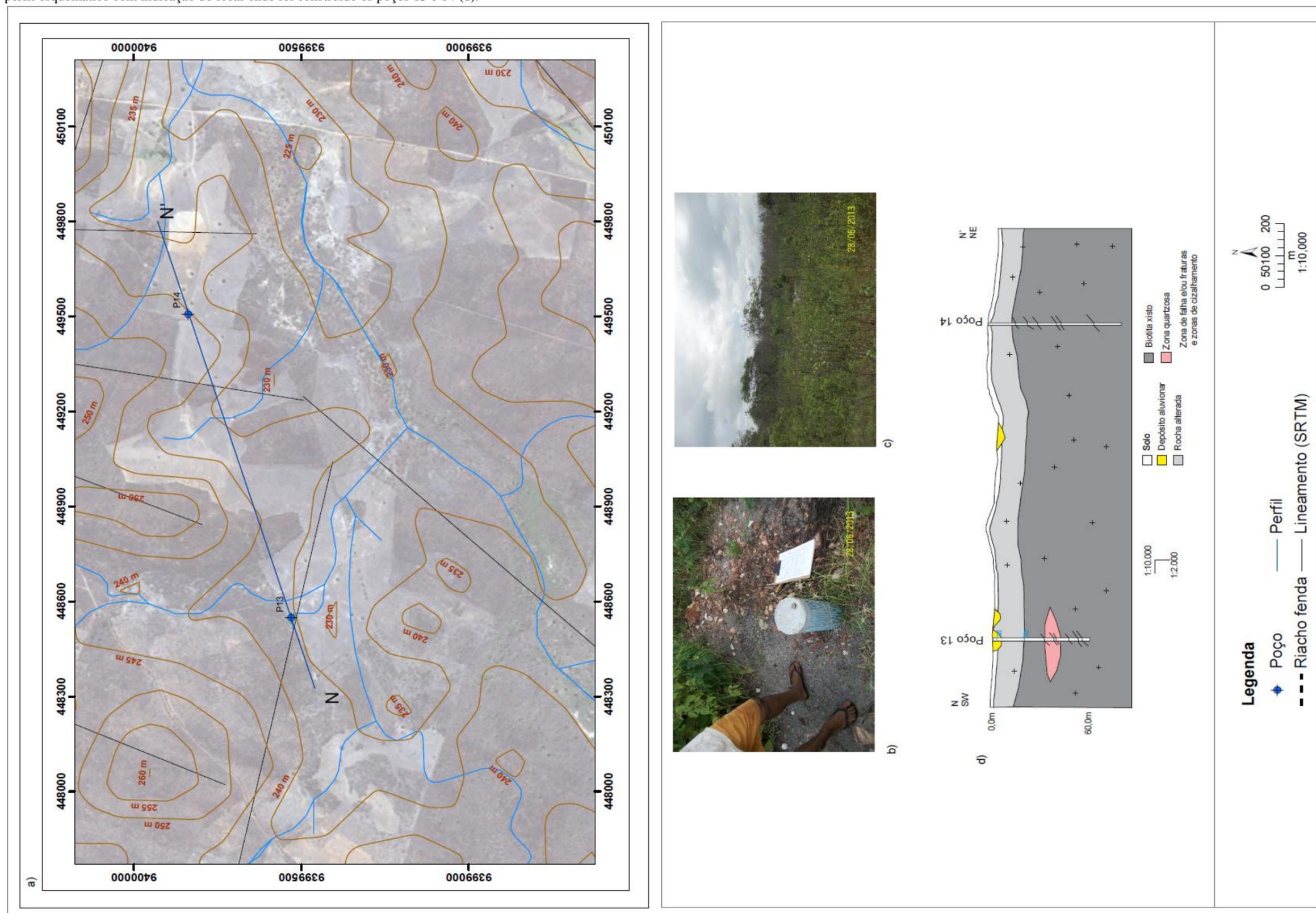
Os poços estão situados na localidade Pau Branco. O Poço 13 tem uma vazão de 12,3m³/h (considerada alta), está situado num baixo topográfico, com inexistência de vegetação e com solo relativamente espesso. O poço 14 é improdutivo, está situado num baixo topográfico, com inexistência de vegetação e com solo relativamente espesso.

No local onde estão os poços não foi possível coletar dados de foliação e de fraturas da rocha devido à inexistência de afloramentos.

O poço 13 foi construído próximo à drenagem, atravessou seis fraturas e uma zona composta predominantemente por quartzo com 8,0m de espessura (possível zona de falha) e obteve uma ótima vazão (12,3m³/h). Já o poço 14 foi construído num local onde não havia drenagem, interceptou 06 (seis) fraturas, mas não obteve uma boa vazão, classificando-o como improdutivo. Os poços 13 e 14 devem ter interceptado um modelo de aquífero denominado câmara de intemperismo, e o motivo pelo qual somente o poço 13 ter uma boa vazão deve-se a dois fatores: a proximidade da drenagem que funcionaria como uma fonte de recarga para o aquífero e; a possível interceptação da zona de falha que pode está conectada as outras fraturas, aumentando ainda mais sua permeabilidade (Figuras 39a, b, c, d).

Não há dúvidas que esta localidade possui um bom potencial hídrico subterrâneo, no entanto, para se fazer uma boa locação é necessário levar em consideração todos os fatores hidrogeológicos, não se limitando apenas a identificação e quantidade de fraturas localizadas pela geofísica.

Figura 39 – Mapa de localização dos poços (a). Situação do poço 13 (b). Vista geral do local onde foi construído o poço 14 (c) e perfil esquemático com indicação do local onde foi construído os poços 13 e 14 (d).



Fonte: Autor.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O município de Quixeramobim possui características geoambientais, tais como clima, manto de intemperismo e, principalmente, litotipos, que não são favoráveis à formação de aquíferos com bom potencial hídrico; no entanto, sua drenagem é controlada por feições estruturais, foliação e fraturas na rocha, que podem auxiliar na locação de poços.

A maioria dos poços construídos (52,05%) possui vazão inferior a 2,0m³/h. O nível estático possui profundidades variáveis, com 42,86% inferiores a 5,0 metros, 30,61% com profundidades entre 5,0 e 10,0m e 26,53% acima de 10,0m. A profundidade do nível dinâmico também é variável, com classe modal para o intervalo de 20,0m a 28,0m. A capacidade específica da maioria dos poços (69,57%) é inferior a 0,2 [(m³/h)/m]. A natureza dos poços é predominantemente (92%) tubular, com apenas 8% sendo amazonas. A situação dos poços mostra que (33%) estão equipados, 21% fechados, 19% sem dados e 27% estão abandonados, seco ou não instalados. Com relação ao uso, apenas 14% é para abastecimento doméstico e 5% para abastecimento público.

Embora os poços sejam predominantemente profundos (70,18%), superiores a 50,0m recomenda-se a construção de poços com profundidade de até 50,0m visto que as vazões a partir dessa profundidade caem consideravelmente.

O uso do sensoriamento remoto mostrou eficaz na identificação dos lineamentos, com os dados interpretados coincidindo, em sua maioria, com os dados de campo (foliação e fraturas das rochas). O seu uso na locação de poços nesse município vai ajudar a identificar grandes lineamentos, de preferência os de comportamento frágil – confirmada através da análise de campo, que podendo se tratar de fendas-mestras responsáveis pelas altas vazões de poços situados em terrenos cristalinos.

A utilização do SIG não mostrou grande eficácia para os dados analisados (14 poços). A integração dos dados de litologia versus vazão não deram bons resultados. Poços com altas e baixas vazões estão localizados no mesmo litotipo, no entanto as formações representadas por xistos, gnaisse e metacalcários parecem mostrar-se mais favorável à formação de aquíferos, principalmente pela ocorrência dos metacalcários, rocha favorável à formação de aquíferos cársticos. A integração dos dados de elevação com dados de vazão mostraram que a maioria dos poços (08) com baixa vazão caíram

em classes altimétricas de 210 a 30m (5 poços) e 230 a 250m (3 poços). Ao contrário do que se esperava, poços com baixa vazão estão situados em zonas em cotas altimétricas mais rebaixadas. A densidade de drenagem versus a vazão mostraram resultados mais esperados. O poços 10 (5,4m³/h) e 13 (12,3m³/h) estão posicionados em zonas de alta densidade de drenagem e a maioria dos poços com baixa vazão estão posicionados em zona de baixa a média de densidade de drenagem. Os dados de lineamentos confrontados com a vazão não mostraram correlação. Existem poços com baixa e alta vazão situados em zonas de alta densidade de lineamentos.

A maioria dos poços foi locado levando em consideração apenas a identificação de fraturas em subsuperfície através da geofísica, motivo pelo qual tiveram poços com vazão inferiores a 5,0m³/h, ou até mesmo, improdutivos. Esses poços estão situados em áreas que ocorrem os modelos riacho-fenda, elúvio-aluvionar e bolsões ou câmaras de intemperismo, como por exemplo, os poços 01, 02, 04, 05, 07, 09, 11, 12 e 14. Os locais onde estão os poços 03 e 08 são pouco favoráveis à ocorrência de água subterrânea, não sendo possível fazer novas locações. Os poços 06, 10 e 13, todos com vazão superior a 5,0m³/h, possuem uma característica bastante comum, talvez, a responsável pelas as altas vazões – a presença da drenagem superficial nas proximidades dos poços. A presença de várias fraturas, do manto de intemperismo relativamente espesso e principalmente a drenagem superficial são responsáveis pela alta vazão do poço 13.

Diante do disposto, a locação de poços nesse município deve levar em consideração as seguintes características: a coexistência da drenagem superficial com as fraturas, principalmente as de direção direções E-W, ou subparalelas a elas. Caso essa situação não ocorra, a coexistência da drenagem superficial com o manto de alteração relativamente espesso, seria outra alternativa.

BIBLIOGRÁFIAS

ALMEIDA, A. R. **Mapa geológico e levantamento de recursos minerais da folha Quixeramobim**, CPRM/UFC. 2007.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES B. B.; FUCK R.A. **Brazilian structural provinces: an introduction**. *Earth Science Reviews*, 17(1-2):1-29. 1981

ANCELMI, M. F. **Metamorfismo e estudo de proveniência, baseado em U-Pb em zircões detríticos e isótopos de Nd, das rochas metassedimentares da Faixa Ecológica de Forquilha (CE), NW da Província Borborema**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 88p. 2011.

ARAÚJO, C. E. G.; CORDANI, U. G.; BASEI, M. A. S.; CASTRO, N. A.; SATO, K.; SPROESSER, W. M. **U–Pb detrital zircon provenance of metasedimentary rocks from the Ceará Central and Médio Coreau Domains, Borborema Province, NE-Brazil: Tectonic implications for a long-lived Neoproterozoic active continental margin**. *Precambrian Research*, 206-207:36-51. 2012.

ARTHAUD, M. H.; CABY, R.; FUCK, R. A.; DANTAS, E. L.; PARENTE, C. V. **Geology of the Northern Borborema Province, and its correlations with Nigeria, NW Africa**. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. *West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294, pp.49-67. 2008.

AVELINO, DA SILVA, J. **Estrutura de acumulação de Água em rochas cristalinas: estudo geofísico e geológico de casos no Estado do Rio Grande do Norte, Progama de Pós-graduação**. Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado. 92p. 2000.

BARRETO, F. A. & COSTA, S. L. C. **Fendilamentos Saturados no Município de Quixeramobim**. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo-SP. 1998.

BARROS, S. D. S. **Aspectos morfo-tectônicos nos platôs de Portalegre, Martins e Santana - RN**. Dissertação de Mestrado, Univ. Fed. R. G. Norte, Pós-Grad. Geodin. Geof.: 133p. 1998.

BEZERRA, F. H. R. **Neotectonics in Northeastern Brazil**. Tese Dout., Univ. College London: 208p. 1998.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZI, C. & SAADI, A. **Plioceno-Quaternary Fault Control of Sedimentation and Coastal Plain Morphology in NE Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, 14: 61-75. 2001.

BRANDÃO, R. L.; GOMES, F. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na avaliação do potencial hidrogeológico da folha Irauçuba**. *Revista de Geologia*. Fortaleza. V. 16, n. 1, 2003.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M.C.; FUCK, R. A. **From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasília-Pan African Cycle and orogenic collage.** Episodes 22:155-166. 1999.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J. e VAN SCHMUS W.R. **Tectonic history of the Borborema Province.** In: *Cordani, U. G.; Milani, E. J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D. A. (eds.). Tectonic Evolution of South America.* 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, p. 151-182. 2000.

BURTE, J. **Relatório de atividades do projeto Pingo d'Água para a SEAGRI – Fortaleza, Ceará, 2002.**

CABY, R.; ARTHAUD M. H. **Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt. Ceará, Northeast Brazil.** Geology, Boulder, n. 14, p. 871-874, 1986.

CALDAS, L. H.; CORIOLANO, A. C.; DANTAS, E. P.; JARDIM DE SÁ, E. F. **Os beachrocks no litoral do Rio Grande do Norte: potencial como marcadores neotectônicos.** Atas XVII Simp. Geol. Nordeste, Fortaleza: 369-374. 1997.

COGERH. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará. Base Cartográfica Bacia do Banabuiú. Disponível em: <<http://portal.cogerh.com.br/base-cartografica/mapas/BH-Banabuiu.jpg/view>>. Acesso em: agosto de 2013.

CORDEIRO, W.; LUNA, R. M.; CORDEIRO, V. F.; CAVALCANTE, I. N. **Águas Subterrâneas nas Bacias Hidrográficas do Ceará.** Fortaleza. 2009.

CORIOLANO, A. C. F. **Reavaliação de Critérios Estruturais na Hidrogeologia de Terrenos Cristalinos, com Ênfase na Neotectônica e Sensoriamento Remoto.** 2002. 199 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2002.

CORIOLANO, A. C. F.; JARDIM DE SÁ, E. F.; COWIE, P. A.; AMARAL, C. A. **Estruturas frágeis no substrato da região de João Câmara (RN): correlação com a Falha Sísmica de Samambaia?** Atas XVII Simp. Geol. Nordeste, Fortaleza: 325-329. 1997.

CORIOLANO, A.C.F., LUCENA, L.F., JARDIM DE SÁ, E.F., SAADI, A. **A deformação quaternária no litoral oriental do Rio Grande do Norte.** VII Simp. Nac. Est. Tect., Lençóis, Bol. Res. Exp.: 67-70. 1999.

COSTA, W. D. **A Hidrogeologia do Cristalino à Luz da Mecânica das Rochas.** Anais do 1º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recife-PE, p. 375-383. 1980.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas.** Banco de Dados Mantido pela CPRM. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acessado em: agosto de 2012.

CREMONINI, O. A.; KARNER, G. D. **Soerguimento termal e erosão na Bacia Potiguar submersa, e seu relacionamento com a evolução da margem equatorial brasileira.** Atas XVI Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife: 181-184. 1995.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea.** Barcelona: Ed. Omega, 1976.

DA SILVA, FRANCISCO HEURY FERNANDES. **Estudo geológico-estrutural e sensoriamento remoto como contribuição a hidrogeologia de terrenos cristalinos no distrito de Juá-CE.** 2007. 134p. Dissertação de mestrado. Centro de Ciências. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2007.

DANTAS, E. P.; JARDIM DE SÁ, E. F.; CASTRO, D. L. **Análise de lineamentos na porção central da Bacia Potiguar e sua reativação neotectônica.** VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Lençóis, Bol. Res. Exp.: 67-70. 1999.

DAVIS, S. N.; TURK, L. J. **Optimum depth of wells in crystalline rocks.** Ground Water 2: 6–11. 1964.

FERREIRA, J. M.; OLIVEIRA, R. T.; TAKEYA, M. K.; ASSUMPÇÃO, M. **Uperposition of local and regional stresses in Northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar Marginal Basin.** Geophys. Jour. Int., 134: 341-355. 1998.

FETTER, A. H.; SANTOS, T. J. S.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA NETO, J. A.; WERNICKA, E. **Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana.** Gondwana Research, 6(2):265-273. 2003.

FETTER, A. H.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, T. J. S.; NOGUEIRA NETO, J. A.; ARTHAUD, M. H. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic Supercontinent "Atlantica".** Revista Brasileira de Geociências, 30(1):102-106. 2000.

FREITAS, MARCOS ALEXANDRE DE. **Determinação do potencial hidrogeológico de rochas cristalinas através de técnicas de geoprocessamento.** 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza. Anais. 2000.

GUPTA, R. P. **Remote Sensing Geology**, 2nd ed., Springer, Verlag, p. 655. 2003.

HENRIKSEN, H. **Relation between topography and well yield in boreholes in crystalline rocks, Sognag Fjordane, Norway.** Ground Water 33(4): 635–43. 1995.

HENRIKSEN, H. **Relation between topography and well yield in boreholes in crystalline rocks, Sognag Fjordane, Norway.** Ground Water 33(4): 635–43. 1995.

HORTA, F. M. **Definição de áreas potenciais para captação de água subterrânea através de sensoriamento remoto e geoprocessamento, exemplo de aplicação a**

Ituiutaba-MG. 2000. 25p. Monografia (especialização). Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais. 2000.

INESPE - INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ. **Caderno Regional da Sub-bacia do Banabuiú.** Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas. Fortaleza-CE. V. 2. Copyright. 2009.

INESPE - INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ. **Caderno Regional da Sub-bacia do Banabuiú.** Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas. Fortaleza-CE. V. 2. Copyright. 2009.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica no Estado do Ceará. Disponível em <<http://www.ipece.ce.gov.br>>. Acesso em 10/05/2012.

ISRM – International Society for Rock Mechanic, 1983. **Suggested methods for the quantitative description of rock masses.** Traduzido pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Método para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos. Edição autorizada pela Pergaman Press LTD Oxford-England. São Paulo. p.132. 1983.

JARDIM DE SÁ E.F., TRINDADE R.I.F., HOLLANDA M.H.B.M., ARAÚJO J.M.M., GALINDO A.C., AMARO V.E., SOUZA Z.S., VIGNERESSE J.L., LARDEAUX J.M.. **Brasilian Syntectonic Alkaline Granites Emplaced in a Strike Slip/Extensional Setting (Eastern Seridó, Brazil).** Anais da Acad. Bras. Ciên., 71:17-28. 1999.

JARDIM DE SÁ E.F., TRINDADE R.I.F., HOLLANDA M.H.B.M., ARAÚJO J.M.M., GALINDO A.C., AMARO V.E., SOUZA Z.S., VIGNERESSE J.L., LARDEAUX J.M.. **Brasilian Syntectonic Alkaline Granites Emplaced in a Strike Slip/Extensional Setting (Eastern Seridó, Brazil).** Anais da Acad. Bras. Ciências., 71:17-28. 1999.

JARDIM DE SÁ, E.F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana.** Tese Doutorado, Inst. Geociências, Univ. Brasília: 804 p. 1994.

JARDIM DE SÁ. **Faturamento no embasamento cristalino do Nordeste do Brasil: cronologia da deformação frágil, reativação neotectônica e implicações hidrogeológicas.** 1st Joint World Congress on Groundwater, Fortaleza. Anais. 2000.

LACHASSAGNE, P.; WYNS, R.; BERARD, P. et al. **Exploitation of high-yields in hard-rock aquifers: Downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones.** Ground water, Westerville, EUA, v. 39, nº 4, p. 568 – 581, 2001.

LARSSON, I. **groundwater in hard rock.** In: **Groud Water In Hard Rocks Internacional Seminar, Cagliari.** Anais... Stockholm, Sweden: 40p, 1977.

LEGRAND, H. E. **Groundwater of the Piedmont and Blue Ridge Provinces of the Southeastern States.** US Geol. Survey. Circular. 238: 11. 1967.

- LIMA, C. C., VIVERS, M. C., MOERA, J. R. S. SANTOS, A. A. M. & CARMO, I. O. **O Grupo Barreiras na Bacia Potiguar: Relações entre o padrão de afloramento, estruturas pré-cambrianas e o tectonismo.** In: SBG, Cong. Brasileiro de Geologia, 36, Natal-RN, anais, 2: 607-620. 1990.
- MARANHÃO, C. M. L. **Alguns Aspectos da Interpretação Fotogeológica Aplicados à Prospecção de Aquíferos em Meio Cristalino.** Revista de Geologia da UFC, V. 7, p17 – 25. 1994.
- MARTINS G., OLIVEIRA E.P. & LAFON J.M. 2009. **The Algodões amphibolite-tonalite gneiss sequence, Borborema Province, NE Brazil: Geochemical and geochronological evidence for Palaeoproterozoic accretion of oceanic plateau/back-arc basalts and adakitic plutons.** *Gondwana Research*, **15**(1):71-85. 2009.
- MATOS, R. M. D. **Abertura do Atlântico Sul: riftes na margem equatorial?** VII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Lençóis, Bol. Res. Exp.: 64-66. 1999.
- MATOS, R. M. D. **The Northeast Brazilian Rift System.** *Tectonics*, 1 (4): 766-791. 1992.
- MCFARLANE, M. J.; CHILTON, P. J.; LEWIS, M. A. **Geomorphological controls on borehole yields; a statistical study in an area of basement rocks in central Malawi, in The Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa.** Eds Wright EP, Burgess WG, Geol. Soc. Spl. Publ. No. 66, pp. 131–54. 1992.
- MENEGASSE, L. N.; DUARTE, U. **Locação de Poços Profundos nos Terrenos Metamórficos e Cristalinos a NW da Grande São Paulo.** Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 6, Porto Alegre/RS. Anais. p190-198. 1990.
- MENEZES, M. R. F. **Contexto estratigráfico e estrutural da Formação Serra do Martins no Rio Grande do Norte.** Dissertação de Mestrado, Pós-Grad. Geodinâmica e Geofísica, UFRN: 167p. 1999.
- NASCIMENTO DA SILVA, C. C.; CORIOLANO, A.C. F.; JARDIM DE SÁ, E. F.; MEDEIROS, W. E.; AMARO, V. E. **Integração de dados estruturais, de sensores remotos e de geofísica na prospecção hidrogeológica em terrenos cristalinos: estudo de casos no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.** Anais IV simpósio de Hidrogeologia do Nordeste e XII Encontros de Perfuradores de Poços, Olinda: 445 – 454. 2001.
- NASCIMENTO SILVA, C. C.; JARDIM DE SÁ, E.F. **Fracture chronology and neotectonic control in the location of water wells in crystalline terrains: an example from the Equador Region, Northeastern most Brazil.** *Rev. Bras. Geociências.*, no prelo. 2000.
- OLIVEIRA, S. B. P., BARRETO, R. N. C., CARVALHO, M. S. B. S., et al. **Utilização de Imagem de Satélite no Levantamento de Solos da Folha Quixeramobim-CE.** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Anais, INPE. Curitiba – PR. P. 9246. 2011.

PALACKY, G. J.; RITSEMA, I. L.; DE JONG, S. J. **Electromagnetic prospecting for groundwater in Precambrian terrains in the Republic of Upper Volta.** Geophysical Prospecting, V. 29, p. 932-955. 1981.

PEULVAST, J.P. & CLAUDINO SALES, V. **Stepped surfaces and palaeolandforms in the northern Brazilian (nordeste): constraints on models of morphotectonic evolution.** Geomorphology, 62, 89-122. 2004.

SAADI, A. E TORQUATO, J. R. **Contribuição à Neotectônica do Estado do Ceará.** Revista de Geologia. UFC, 5º Ed., P 5-38. 1992.

SANTOS, C. A. C., BRITO, J. I. B., RAO, V. R. & MENEZES, H. E. A. **Tendências dos Índices de Precipitação no Estado do Ceará.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, nº 1, p 39-47. 2009.

SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. B. **Província Borborema.** In: Almeida, F. F. M.; Hasui, Y. (Coord.). *O Pré-Cambriano do Brasil.* São Paulo: Edgar Blucher, p. 123-186. 1984.

SETZER, J. **Significação Tectônica das Fraturas Fotogeológicas.** Simpósio Brasileiro sobre Fotografias Aéreas, 2, Rio de Janeiro, Anais. Rio de Janeiro: IBGE. 4p. 1965.

SIDDIQUI, S. H. **Hydrogeologic fatores influencing well yields and aquifer hydraulic properties of folded and faulted carbonate rocks in central Pennsylvania.** Ph.D diss., Department of Geology and Geophysics, Pennsylvania State University. 1969.

SINGHAL, B. B. S. GUPTA, R. P. **Applied Hydrogeology of Fractured Rocks.** Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 400p. 1999.

SIQUEIRA, L. **Contribuição da geologia à pesquisa de Água Subterrânea no Cristalino.** Sudene, Recife/PE, 51p. 1963.

TORQUATO, J. R. F. et al. **Granitóides do Ceará: região de Quixadá-Solonópole.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 2, nº 1/2, 145 p. 1989.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. **Water in Crystalline Rocks, SC-77/ WS/71,** UNESCO, Paris, p. 344. 1979.

VAN SCHUMUS, W.; BRITO NEVES, B.; HACKSPACHER, P.; BABINSKI, M. **U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of Eastern Borborema Province, Northeastern Brazil:** Initial conclusions. J S Am Earth Sci 8: 267-288. 1995.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.P.; CABY, R.; CORSINI, M.; EGYDIO SILVA, M.; ARTHAUD, M. H.; AMARO, V. **The Borborema shear zone system, NE Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, 8(3-4):247-266. 1995.

WOOLLEY, D. R. **Depth - yield relationships of bores in fractured rocks in New South Wales**, in AWRC Conference on Groundwater in Fractured Rock Conference Ser. No. 5, Canberra, pp. 283–92. 1982.

YIN, Z. Y., AND G. A. BROOK. **The photographic approach to locating high-yield wells in crystalline rocks: Does it work.** Ground Water 30, n°1: 96 – 102. 1992.

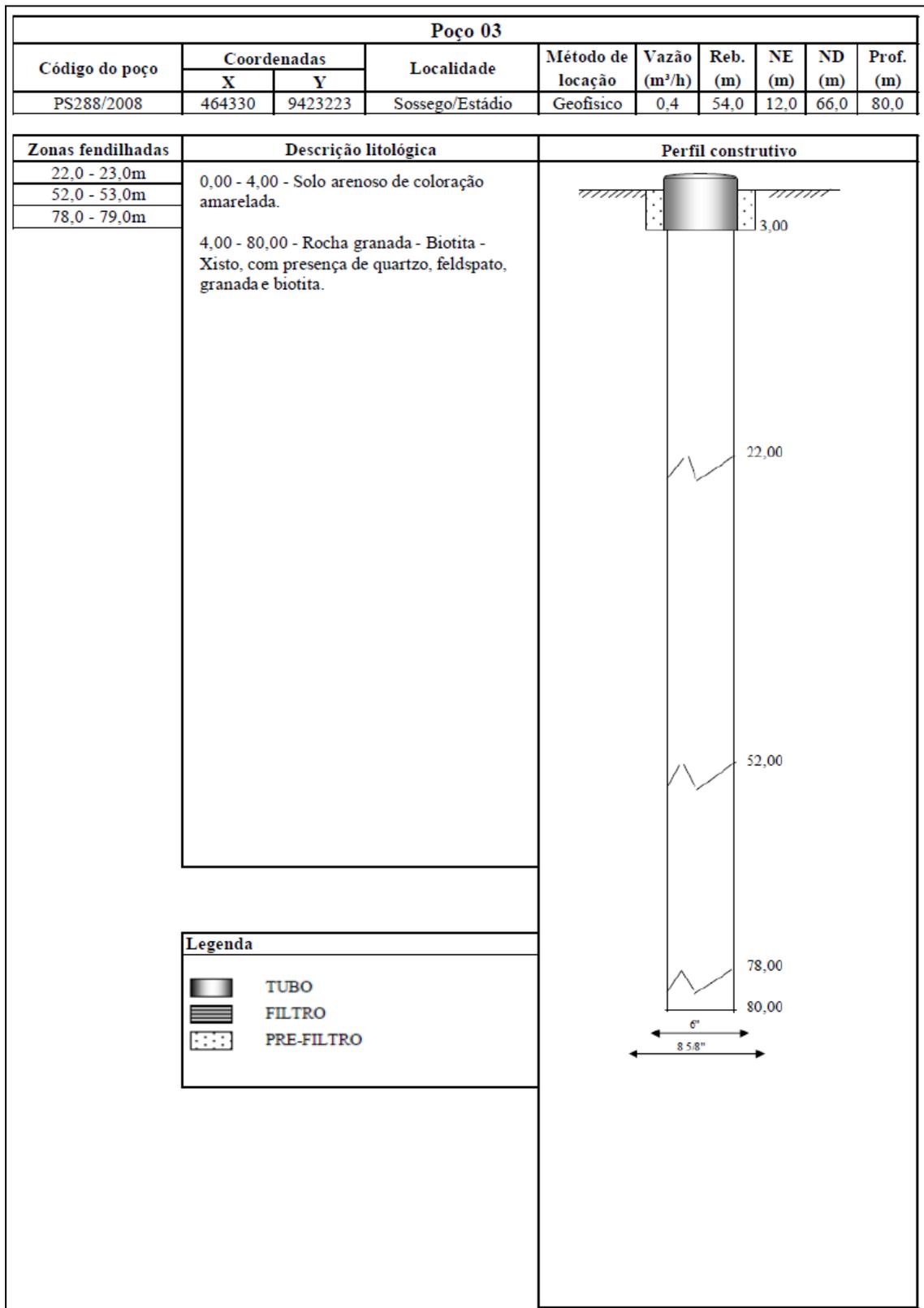
ANEXO I – Perfis litológico/construtivos dos 14 poços tubulares

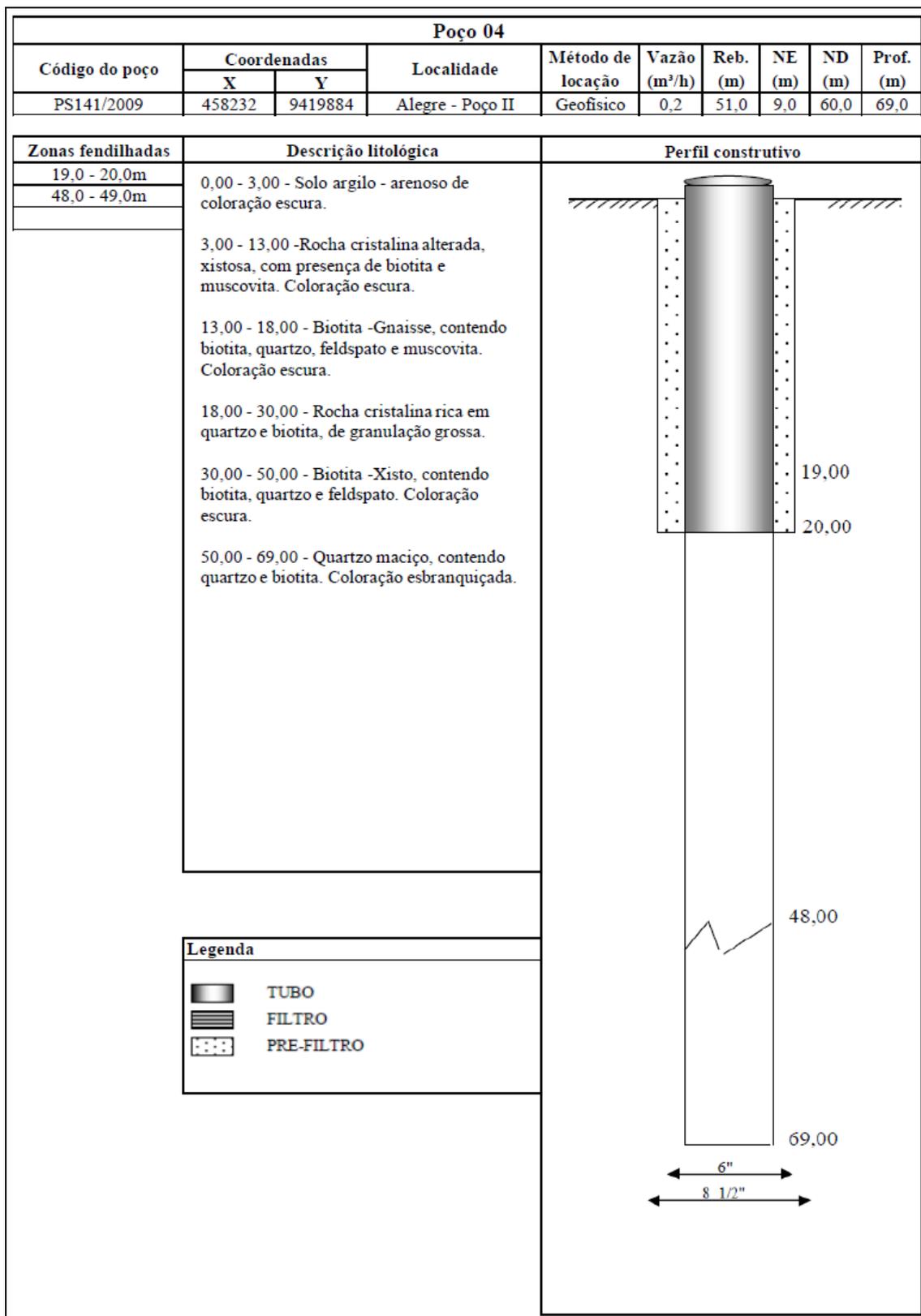
Poço 01									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS171/2009	463543	9428709	Faz. Ramalhete	Geofísico	0,7	49,0	8,0	57,0	73,0
Zonas fendilhadas	Descrição litológica			Perfil construtivo					
64,0 - 65,0 m	0,00 - 3,00 - Solo arenoso, quartzoso de coloração cinza.								
	4,00 - 9,00 - Rocha cristalina bastante alterada, não sendo possível identificar seus minerais.								
	9,00 - 13,00 - Rocha cristalina, rica em quartzo contendo feldspato e biotita. Coloração esbranquiçada.								
	13,00 - 20,00 - Biotita - ganisse, contendo biotita, quartzo e feldspato. Coloração escura.								
	20,00 - 50,00 - Rocha cristalina rica em quartzo. Contendo biotita e feldspato.								
	50,00 - 73,00 - Rocha gnaissica, contendo quartzo, biotita e feldspato. Coloração cinza.								
Legenda									
	TUBO								
	FILTRO								
	PRÉ-FILTRO								

Poço 02									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS174/2009	460947	9427875	Faz. Graciosa	Geofísico	0,4	48,0	10,0	58,0	69,0

Zonas fendilhadas	Descrição litológica	Perfil construtivo
16,0 - 17,0m	0,00 - 3,00 - Solo argiloso de coloração escura. 3,00 - 14,00 - Rocha cristalina bastante alterada, não sendo possível identificar seus minerais. 14,00 - 69,00 - Rocha biotita-xisto, contendo biotita, anfíbolio, quartzo e plagioclásio.	
55,0 - 56,0m		

Legenda	
	TUBO
	FILTRO
	PRE-FILTRO



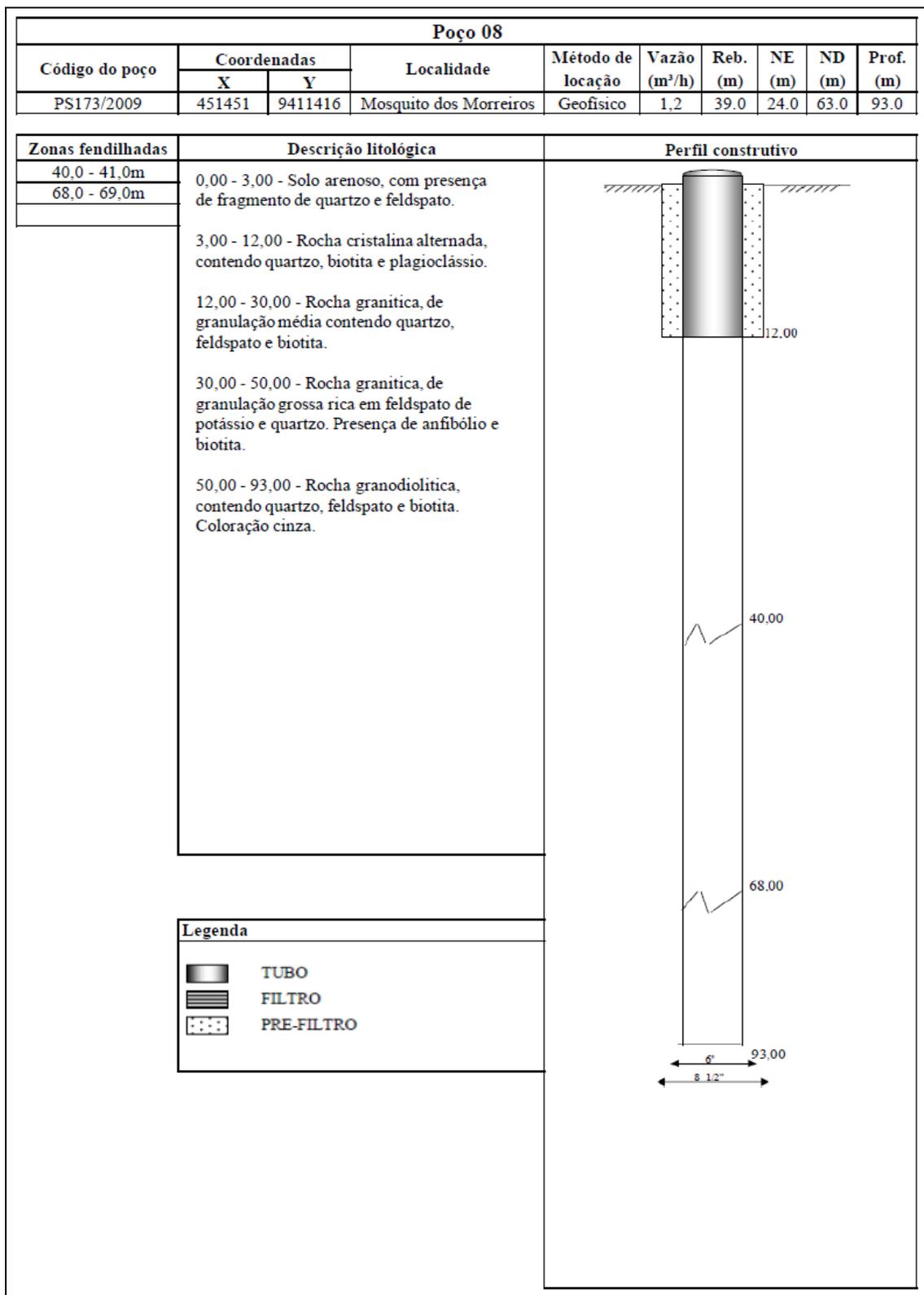


Poço 05									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m ³ /h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS120/2009	458258	9419668	Alegre - Poço I	Geofísico	Improduz.	-	-	-	93.0

Zonas fendilhadas	Descrição litológica	Perfil construtivo
36,6 - 37,0m	0,00 - 3,00 - Solo arenoso de coloração cinza. 3,00 - 8,00 - Rocha cristalina alterada, contendo quartzo e biotita. 8,00 - 93,00 - Rocha biotita - xisto de granulação fina a média, contendo biotita, quartzo e plagioclassio. Coloração escura.	
48,0 - 49,0m		
Legenda TUBO FILTRO PRE-FILTRO		

Poço 06									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS172/2009	456143	9417282	Bezerro Porto Seguro	Geofísico	5,3	17,0	3,0	20,0	40,0
Zonas fendilhadas	Descrição litológica			Perfil construtivo					
10,0 - 11,0m	<p>0,00 - 3,00 - Solo arenoso de coloração cinza.</p> <p>3,00 - 10,00 - Rocha cristalina bastante alterada, contendo biotita, quartzo e feldspato.</p> <p>10,00 - 40,00 - Rocha anfíbotito, contendo, anfíbolio, quartzo e biotita. Coloração escura.</p>								
20,0 - 21,0m									
Legenda									
TUBO									
FILTRO									
PRE-FILTRO									

Poço 07									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS122/2009	450730	9412074	Caruano	Geofísico	0,8	20,0	12,0	32,0	41,0
Zonas fendilhadas	Descrição litológica			Perfil construtivo					
27,0 - 28,0m	0,00 - 6,00 - Solo areno - argiloso de coloração cinza.								
	6,00 - 15,00 - Rocha cristalina alterada, contendo quartzo, biotita e feldspato. Coloração cinza.								
	15,00 - 40,00 - Gnaise de granulação média, contendo quartzo, biotita e feldspato de potássio. Coloração cinza.								
Legenda									
	TUBO								
	FILTRO								
	PRE-FILTRO								



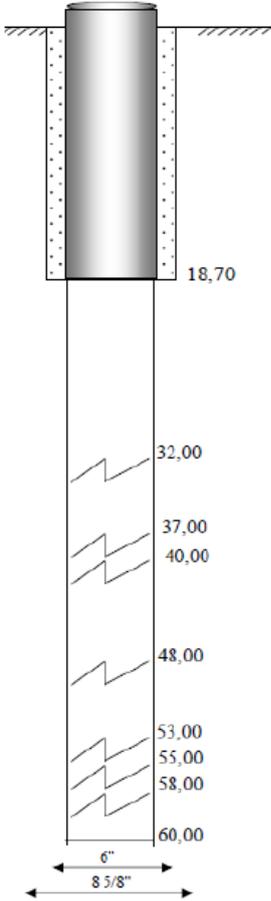
Poço 09									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
37/2003	454575	9407536	Faz. Vista Alegre	Geofísico	3.0	22,5	3,5	26.0	54.0
Zonas fendilhadas	Descrição litológica			Perfil construtivo					
32.0 - 33.0m	0,0 - 3,0 - Solo argilo arenoso de coloração cinza.								
	3,0 - 15,0 - Rocha cristalina alterada.								
	15,0 - 54,0 - Rocha gnáissica que apresenta em sua composição minerais característicos como quartzo, feldspato e biotita.								
Legenda									
	TUBO								
	FILTRO								
	PRE-FILTRO								

Poço 10									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS246/2008	446150	9401960	Oitica/Juazeiro do amor	Geofísico	5,4	21,5	2,8	24,3	40,0
Zonas fendilhadas	Descrição litológica			Perfil construtivo					
29,0 - 30,0m	0,00 - 4,00 - Solo areno - argiloso de coloração escura. 4,00 - 26,00 - Rocha cristalina alterada, rica em biotita. Presença de quartzo e feldspato. 26,00 - 40,00 - Rocha biotita, xisto de coloração escura, rica em biotita. Presença de quartzo e feldspato.								
34,0 - 35,0m									
36,0 - 37,0m									
Legenda									
		TUBO							
		FILTRO							
		PRE-FILTRO							

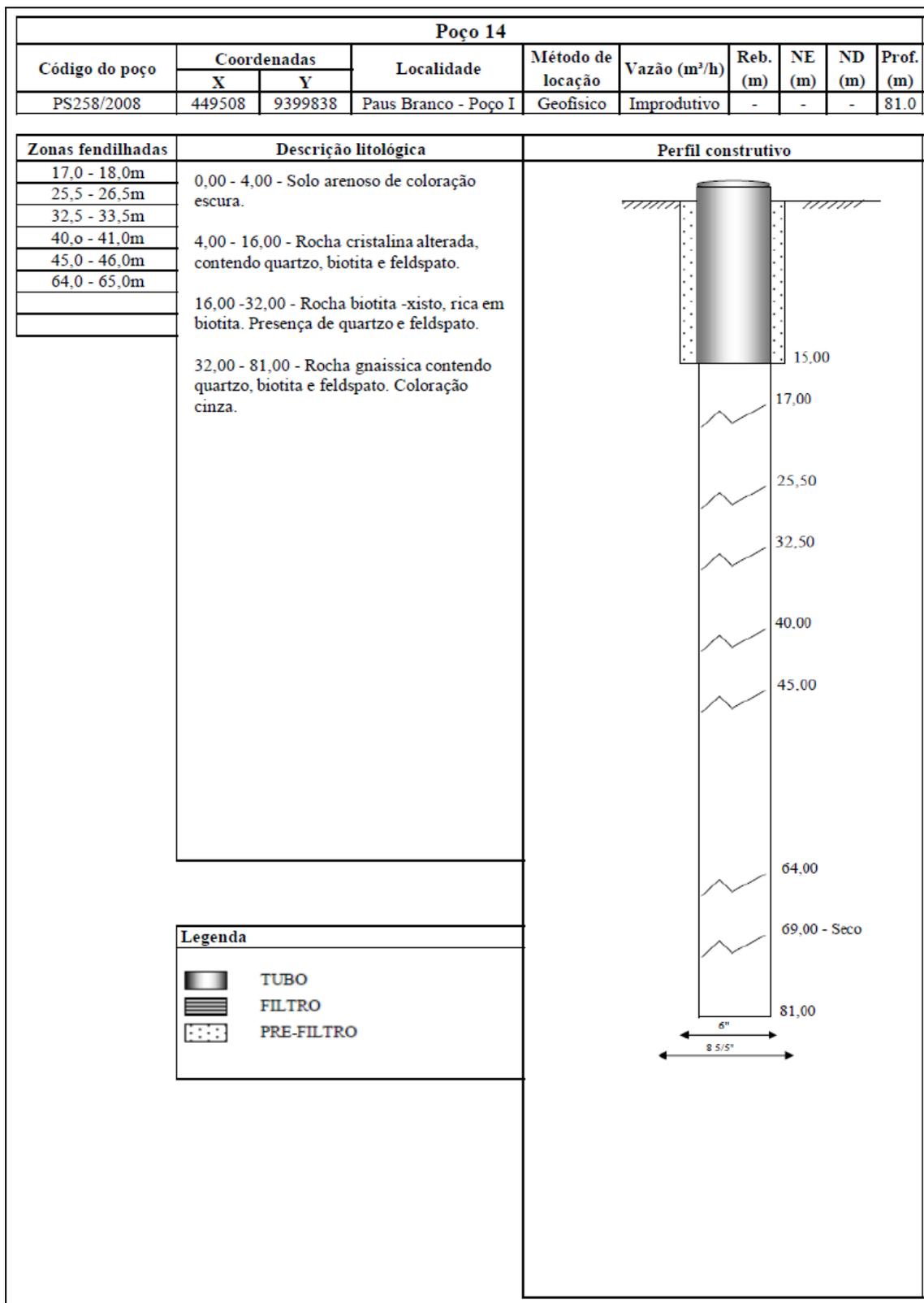
Poço 11									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS170/2009	447868	9404848	Viração	Geofísico	1,2	40,0	3,0	43,0	60,0
Zonas fendilhadas	Descrição litológica			Perfil construtivo					
37,0 - 38,0m	0,00 - 3,00 - Solo argiloso de coloração esbranquiçada.								
	3,00 - 6,00 - Veio de quartzo leitoso.								
	6,00 - 25,00 - Rocha granítica, rica em anfíbolo contendo biotita, quartzo e plagioclassio.								
	25,00 - 40,00 - Rocha granítica, de granulação média, contendo anfíbolo, quartzo, biotita e feldspato de potássio.								
Legenda									
		TUBO							
		FILTRO							
		PRE-FILTRO							

Poço 12									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m ³ /h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
36/2003	448944	9395503	Serra D'água Escola Mãe Rosinha	Geofísico	8.0	42,5	2.5	45.0	60.0
Zonas fendilhadas	Descrição litológica			Perfil construtivo					
29,0 - 30,0m	0,0 - 2,0 - Solo argilo arenoso de coloração cinza.								
	2,0 - 18,0 - Rocha cristalina alterada.								
	18,0 - 60,0 - Rocha cristalina sã, com característica de um gnaisse.								
Legenda									
	TUBO								
	FILTRO								
	PRE-FILTRO								

Poço 13									
Código do poço	Coordenadas		Localidade	Método de locação	Vazão (m³/h)	Reb. (m)	NE (m)	ND (m)	Prof. (m)
	X	Y							
PS59/2008	448548	9399530	Paus Branco - Poço II	Geofísico	12,3	17,0	4,3	21,3	60,0

Zonas fendilhadas	Descrição litológica	Perfil construtivo	
32,0 - 33,0m	0,00 - 4,00m - Solo arenoso de coloração cinza.		
37,0 - 38,0m			
40,0 - 41,0m			
48,0 - 49,0m			4,00 - 18,00m - Rocha cristalina alterada contendo quartzo, biotita e feldspato.
53,0 - 54,0m			18,00 - 32,00m - Rocha biotita-xisto contendo quartzo, biotita e feldspato.
55,0 - 56,0m			32,00 - 40,00m - Rocha cristalina rica em quartzo e feldspato, coloração branca.
	40,00 - 60,00m - Rocha biotita-xisto contendo quartzo, biotita e feldspato.		

Legenda	
	TUBO
	FILTRO
	PRE-FILTRO



2300011290	473133	9445719	tubular	Equipado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011291	471410	9450790	tubular	Equipado	Pecuária	42	s/informações	s/informações	s/informações	1.4
2300011292	471940	9450993	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	60	s/informações	s/informações	s/informações	2
2300011293	468500	9449984	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011294	468959	9449727	tubular	Equipado	Abastecimento doméstico	65	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011295	468779	9449695	tubular	Equipado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011296	466303	9448297	tubular	Equipado	Pecuária	60	s/informações	s/informações	s/informações	8
2300011297	466229	9447169	tubular	Equipado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011298	466904	9445859	tubular	Equipado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	2.5
2300011299	457676	9450883	tubular	Equipado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	3.1
2300011300	461009	9452465	tubular	Fechado	Pecuária	60	s/informações	s/informações	s/informações	4.5
2300011491	461413	9441567	tubular	Equipado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011492	458122	9437180	tubular	Abandonado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011493	480978	9411706	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011494	482777	9428826	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011495	461208	9467514	tubular	Abandonado	s/informações	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011496	466724	9424525	tubular	Equipado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011497	460750	9409357	tubular	Não instalado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011498	463206	9411528	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011499	459839	9394674	tubular	Equipado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011500	454229	9398120	tubular	Fechado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011501	451298	9399802	tubular	Abandonado	s/informações	70	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011502	446082	9401984	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	36	26.6	1.8	s/informações	2.82
2300011503	446636	9402290	tubular	Equipado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011504	447730	9401849	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011505	450300	9400570	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011506	442327	9397047	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	0.8
2300011507	446516	9397082	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011508	446560	9396662	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011509	446556	9399979	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	5
2300011510	469780	9408098	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011511	469782	9408169	tubular	Fechado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011512	468074	9411464	tubular	Fechado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações

2300011513	463526	9401542	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011514	466883	9398054	tubular	Equipado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011515	460626	9399588	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011516	464934	9422015	tubular	Fechado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011517	456092	9420191	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011518	453170	9415632	tubular	Abandonado	s/informações	70	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011519	446015	9406693	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011520	446463	9393950	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	54	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011521	469356	9426187	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011522	469331	9426213	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011523	468400	9425522	tubular	Abandonado	s/informações	70	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011524	472711	9419698	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011525	472909	9419940	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011526	453833	9429623	tubular	Abandonado	s/informações	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011527	468295	9413720	tubular	Não instalado	s/informações	80	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011528	478315	9398015	tubular	Não instalado	Abastecimento doméstico	66	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011529	478165	9398065	tubular	Abandonado	Abastecimento doméstico	36	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011530	483395	9397765	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	s/informações	s/informações	s/informações	1.2
2300011531	485221	9396259	tubular	Equipado	Pecuária	61	s/informações	s/informações	s/informações	0.9
2300011532	475266	9395955	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	s/informações	s/informações	s/informações	3.6
2300011533	473554	9395112	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	s/informações	s/informações	s/informações	6
2300011534	473790	9393670	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	48	s/informações	s/informações	s/informações	0.2
2300011535	473557	9393187	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	s/informações	s/informações	s/informações	0.3
2300011536	471784	9390513	tubular	Abandonado	Abastecimento múltiplo	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011537	462758	9444026	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011538	461825	9448275	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011539	481737	9440725	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011540	467551	9424546	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011541	467311	9424706	tubular	Fechado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011542	467835	9425625	tubular	Fechado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011543	467820	9425599	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011544	467534	9426237	tubular	Fechado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011545	466032	9425726	tubular	Fechado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações

2300011546	467446	9425947	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011547	466450	9426028	tubular	Fechado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011548	462429	9425037	tubular	Fechado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011549	456295	9439357	tubular	Abandonado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011550	456281	9434412	tubular	Fechado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011551	442148	9416445	tubular	Fechado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011552	442196	9414579	tubular	Fechado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011553	453924	9417088	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011554	437593	9421905	tubular	Fechado	Pecuária	80	s/informações	s/informações	s/informações	0.3
2300011555	436487	9421777	tubular	Equipado	Abastecimento doméstico	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011556	436093	9421602	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011557	436398	9421407	tubular	Equipado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011558	437682	9412247	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011559	446215	9408536	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	4.5
2300011560	448897	9410002	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011561	449469	9407508	tubular	Fechado	Pecuária	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011562	450710	9408700	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011563	451768	9411249	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011564	451091	9412970	tubular	Fechado	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011565	446674	9406111	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011566	468550	9394845	amazonas	Fechado	Outros (lazer, etc.)	8	s/informações	s/informações	s/informações	2
2300011567	448825	9395171	amazonas	Fechado	Abastecimento múltiplo	15	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011568	448417	9395120	amazonas	Equipado	Abastecimento múltiplo	5	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011569	460403	9400423	amazonas	Equipado	Abastecimento múltiplo	8	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011570	449160	9401807	amazonas	Equipado	Abastecimento múltiplo	7	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011571	436749	9410655	amazonas	Equipado	Abastecimento doméstico	7	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011572	442998	9418511	amazonas	Fechado	Abastecimento múltiplo	5.6	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011573	442480	9417132	amazonas	Equipado	Abastecimento doméstico	4	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011574	443420	9418604	amazonas	Fechado	Abastecimento múltiplo	7	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011575	444855	9420593	amazonas	Fechado	Abastecimento doméstico	8	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011576	440379	9414797	amazonas	Equipado	Abastecimento doméstico	6	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011673	446356	9414718	amazonas	Fechado	Abastecimento doméstico	4	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011674	461219	9457897	amazonas	Equipado	Abastecimento doméstico	9	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações

2300011675	485999	9414597	amazonas	Equipado	Abastecimento múltiplo	5.4	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011676	472080	9395290	tubular	Não instalado	s/informações	73	s/informações	s/informações	s/informações	3
2300011677	483353	9415406	amazonas	Equipado	Abastecimento múltiplo	16	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300011678	480000	9431550	tubular	Fechado	Abastecimento múltiplo	71	28.9	16.2	s/informações	4.4
2300011679	479400	9431200	tubular	Equipado		32	s/informações	s/informações	s/informações	1.2
2300018512	455122	9418160	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	72	54	4.5	0.006	0.3
2300018513	453198	9415280	tubular	Equipado	Abastecimento	60	44	5.2	0.031	1.2
2300018514	450232	9413587	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	48	15	2.5	0.408	5.1
2300018515	442765	9397285	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	54	28	4	0.15	3.6
2300018516	461271	9444578	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	21	6	0.137	2.05
2300018517	464707	9404634	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	48	22	5.5	0.218	3.6
2300018518	466506	9403768	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	72	55	10	0.009	0.4
2300018519	478840	9393688	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	22	0.7	0.225	4.8
2300018520	488507	9414137	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	72	52	5	0.004	0.18
2300018521	448951	9395508	tubular	Não instalado	s/informações	38.5	26.5	6	0.025	0.52
2300018522	436777	9417311	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	46.5	9.5	0.011	0.4
2300018523	431738	9417341	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	60	42	5.6	0.033	1.2
2300018524	473056	9444890	tubular	Não instalado	s/informações	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300018525	484148	9423818	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	64	51	8	0.003	0.15
2300018526	475881	9393895	tubular	Seco	s/informações	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300018527	434567	9415120	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	46	36	4.8	0.058	1.8
2300019220	455451	9354027	tubular	s/informações	s/informações	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300019221	482081	9422619	tubular	s/informações	s/informações	54	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300019222	449315	9402392	tubular	s/informações	s/informações	54	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300019629	454573	9407542	tubular	s/informações	s/informações	54	26	3.5	0.133	3
2300019630	465984	9448198	tubular	s/informações	s/informações	60	45	13.5	0.016	0.5
2300019631	448935	9395512	tubular	s/informações	s/informações	60	50	2.5	0.017	0.8
2300019762	478824	9417055	tubular	s/informações	Abastecimento urbano	72	32	6.45	0.352	9
2300019763	479316	9416779	tubular	s/informações	Abastecimento urbano	72	29.2	3.7	0.101	2.571
2300019764	470230	9430470	tubular	s/informações	s/informações	72			s/informações	
2300019765	475899	9418866	tubular	s/informações	s/informações	72	40.44	3.65	0.013	0.46
2300019766	454413	9419469	tubular	s/informações	s/informações	72	38	1.35	0.006	0.22
2300019767	446420	9406597	tubular	s/informações	s/informações	72	18.7	4.35	0.358	5.14

2300020671	452720	9404981	tubular	Equipado	Abastecimento	72	42	11	0.097	3
2300020674	452744	9404773	tubular	Seco	s/informações	60	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300021070	465077	9399398	tubular	s/informações	s/informações	88	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300021762	453541	9414840	tubular	Seco	Abastecimento múltiplo	81	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300021771	449508	9399838	tubular	Seco	Abastecimento múltiplo	81	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300021772	448548	9399530	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	60	21.3	4.3	0.724	12.3
2300021820	440921	9421778	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	28	11.9	3.6	1.301	10.8
2300021821	448250	9433194	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	60	32	2	0.237	7.1
2300021822	446150	9401960	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	40	24.3	2.8	0.251	5.4
2300021875	473128	9450860	tubular	Seco	Abastecimento múltiplo	80	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300021967	458258	9419668	tubular	Seco	Abastecimento múltiplo	93	s/informações	s/informações	s/informações	s/informações
2300021986	448665	9413618	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	80	66	8	0.007	0.4
2300021987	464369	9423268	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	80	66	12	0.007	0.4
2300021988	450730	9412074	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	41	32	12	0.04	0.8
2300021989	458232	9419884	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	69	60	9	0.004	0.2
2300022083	444692	9440696	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	77	57	15	0.012	0.5
2300022105	447868	9404848	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	60	43	3	0.03	1.2
2300022106	451451	9411416	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	93	63	24	0.031	1.2
2300022107	456143	9417282	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	40	20	3	0.312	5.3
2300022108	464455	9429302	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	73	57	8	0.014	0.7
2300022341	460949	9427880	tubular	s/informações	Abastecimento múltiplo	69	58	10	0.009	0.45
2300022563	446215	9408533	tubular	Equipado	Abastecimento múltiplo	40	30	20	0.15	1.5