



**GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DAS CABECEIRAS DO ARROIO DOS
LADRÕES, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL FEPAGRO, ENCRUZILHADA DO
SUL/RS**

Porto Alegre, 2011

DENIS DOS SANTOS GONÇALVES

**GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DAS CABECEIRAS DO ARROIO DOS
LADRÕES, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL FEPAGRO, ENCRUZILHADA DO
SUL/RS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Amoretti Lisboa

Supervisor: Prof. Dr. Norberto Dani

Porto Alegre, 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DAS CABECEIRAS DO ARROIO DOS LADRÕES, ESTAÇÃO EXPERIMENTAL FEPAGRO, ENCRUZILHADA DO SUL/RS**, elaborado por DENIS DOS SANTOS GONÇALVES, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus

Prof. Dr. Pedro Antônio Roehe Reginato

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Lauro Índio Soares Gonçalves e Zenira dos Santos Gonçalves pelo inevitável, porém necessário, apoio financeiro, mas principalmente por estarem sempre presentes e confiantes.

Aos meus irmãos Roger dos Santos Gonçalves e Joice dos Santos Gonçalves muitas vezes pelo também apoio financeiro, mas principalmente pela companhia.

Aos demais familiares mais próximos que sempre deram os empurrões no ego para seguir a luta. Citando: Jim, Quetter, Jack, David e os amigos Ronald, Mazo, Deby, Cris e Jairinho.

Ao meu afilhado Pietro por existir.

Ao meu irmão por parte de lutas e idéias, o Geólogo Wendel Simões da Luz pelas várias e várias empreitadas vencidas, pela consultoria na parte de informática e pelas muitas risadas, que ajudam a segurar as broncas.

TÉCNICOS:

Ao orientador deste projeto, o Prof. Dr. Nélon Amoretti Lisboa pelo projeto, pela orientação e por aceitar o desafio, e ao supervisor do projeto, Prof. Dr. Norberto Dani pelas fotos aéreas e pela orientação nas análises de laboratório.

Ao Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp pela consultoria na parte de geologia.

Ao Prof. Dr. Pedro Antônio Roehé Reginato pela consultoria na parte de hidrogeologia.

A todos os motoristas do Instituto de Geociências pelo transporte seguro e pelas risadas.

E, por fim, agradeço a mim mesmo pela insistência!!!

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade estudar a geologia e a hidrogeologia das cabeceiras do Arroio dos Ladrões em uma área de 25 km², pertencente à bacia hidrográfica do Rio Camaquã, no município de Encruzilhada do Sul/RS, visando o aproveitamento de água subterrânea em aquíferos fraturados para apoiar os experimentos agropecuários desenvolvidos na Estação Experimental da Fundação de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO), do Estado do Rio Grande do Sul.

O estudo aerofotogeológico preliminar definiu três unidades litológicas principais na região que posteriormente foram confirmadas no trabalho de campo. As duas primeiras unidades estão relacionadas, tratando-se de rochas granitóides ricas em muscovita, biotita, k-feldspato e quartzo caracterizando um Muscovita Granito denominado Granito Cordilheira. As duas unidades são distintas, então, por suas diferentes estruturas, enquanto a unidade 1 apresenta trechos com estrutura foliada devido a milonitização sofrida por cisalhamento, a unidade 2 apresenta estrutura maciça, textura inequigranular grossa. A unidade 3 aparece relacionada às anteriores cobrindo o Granito Cordilheira, e é formada por rocha sedimentar remanescente da Bacia do Paraná. A região onde se concentrou a maior atenção dos estudos encontra-se na unidade 1. Nesta região, registraram-se falhas compressivas de médio e pequeno porte no sentido NE e, relacionadas a elas, fraturas de alívio de pequeno porte concordantes com diques riolíticos de sentido NW. As fraturas NW são destacadas no trabalho para o aproveitamento como aquífero fraturado mostrando inclusive drenagens (exutórios) encaixadas.

O inventário de poços e vertentes apresentou resultados mostrando o aproveitamento de águas de vertente, do aquífero freático e do aquífero fraturado, sendo encontradas obras de captação que variam de 1 a 70 metros de profundidade com vazões moderadas a boas. A área de recarga da região é abastecida por precipitações médias anuais de 1500 mm e conta, ainda, com uma baixa taxa de evapotranspiração, com média de 800 mm/ano, permitindo assim um aporte significativo de água para escoamento superficial e infiltração. O regolito analisado possui característica predominantemente arenosa, além da ausência de argilominerais expansivos, fatores que contribuem para boa taxa de infiltração local. As análises químicas da água caracterizaram a mesma como bicarbonatada, apresentando insignificantes ou baixos valores nos demais parâmetros químicos analisados.

O estudo mostrou que podem ser indicados pontos de captação por poços tubulares no meio fraturado da região, e aponta pelo menos um local para futura obra, com possibilidades de obter água em quantidade e qualidade que satisfaçam as necessidades da Estação Experimental.

Palavras-Chave: Geologia. Hidrogeologia. FEPAGRO. Aquíferos fraturados.

ABSTRACT

This project has the purpose of studying the geology and hydrogeology of the Arroio dos Ladrões headwaters in an area of 25 km², which belongs to Camaquã River basin in Encruzilhada do Sul / RS, in order to exploit groundwater in fractured aquifers to support agricultural experiments developed at the Experimental Station of Agricultural Research Foundation (FEPAGRO), in the Rio Grande do Sul state.

The preliminary aerofotogeologic study has defined three main lithological units in the region that were later confirmed in field work. The first two units are related, and these are granitoids rocks rich in muscovite, biotite, K-feldspar and quartz that characterize a Muscovite Granite called Granito Cordilheira. The two units are distinct by their different structures, while the unit 1 has sections with foliation structure due to shear zones, the unit 2 features massive structure, and coarse-grained inequigranular texture. Unit 3 appears covering the Granito Cordilheira and it is formed by remaining sedimentary rock from the Paraná Basin. The studies were most focused in the region found at Unit 1. In this region, medium to small NE compressive faults were observed, and relief fractures consistent with small NW rhyolitic dikes are related. The NW fractures are distinguished in this work to exploit as fractured aquifer, including embedded drainage.

The wells and slopes inventory presented results showing the use of slope waters, groundwater aquifers and fractured aquifer, impounding works were found ranging from 1 to 70 meters deep with an outflow from moderate to good. The recharge area of the region is provided with average annual rainfall of 1500 mm and also counts with a low evapotranspiration rate, with an average of 800 mm / year, thus allowing a significant contribution to water runoff and infiltration. The analyzed regolith consists, predominantly, of sandy texture, besides the absence of expansive clays, factors that contribute to the good local infiltration rate. The water chemical analysis characterized the same as bicarbonate, which has low values for the other parameters.

The study showed that impound points can be indicated by wells in fractures of the region, and indicates at least one location for future work, with the possibility of obtaining water in quantity and quality to supply the Experimental Station needs.

Keywords: Geology. Hydrogeology. FEPAGRO. Fractured aquifers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição percentual da água total no planeta.....	12
Figura 2 – Ilustração esquematizando o ciclo hidrológico.	13
Figura 3 – Exemplo esquemático do funcionamento de aquíferos fraturados por efeito da tectônica rígida (porosidade secundária).	15
Figura 4 – Localização geográfica destacando primeiro, o estado do Rio Grande do Sul e em seguida, a bacia hidrográfica do Rio Camaquã e a localização da área de estudo.	18
Figura 5 – Imagem de satélite modificada mostrando a zona urbana do Município de Encruzilhada do Sul/RS, uma das principais vias de acesso, a Estação Experimental FEPAGRO e a área de estudo de 25 km ²	19
Figura 6 – Tipos climáticos do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação de Köppen (1931). Destacando a área de estudo que corresponde ao clima tipo Cfb (temperado úmido).	21
Figura 7 – Gráficos de precipitação pluvial total sazonal e mensal (1967-1998) do município de Encruzilhada do Sul/RS.	22
Figura 8 – Gráfico destacando a relação entre a altitude (430 m) e a evapotranspiração potencial média anual (800 mm) da estação meteorológica do município de Encruzilhada do Sul.	22
Figura 9 – Fotos mostrando o relevo maciço aplainado alteado e, em destaque, o tipo de solo da região classificado como regossolo.	24
Figura 10 – Mapa geológico e estrutural do embasamento da Bacia do Paraná destacando a área de estudo.....	26
Figura 11 – Mapa geológico do Batólito Pelotas e suas suítes intrusivas mostrando a localização geológica da área de estudo.	28
Figura 12 – Mapa esquemático detalhando a Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, o próprio Rio Camaqua, o Arroio dos Ladrões e a localização da área de estudo.	29
Figura 13 – Imagem orbital mostrando lineamentos de pequeno e médio porte trabalhados na região de estudo.....	32
Figura 14 – Fotointerpretação preliminar realizada em foto aérea 1:25000 da região da FEPAGRO.....	33
Figura 15 – Mapa de pontos confeccionado segundo o trabalho de campo realizado, distinguindo pontos de geologia, coletas de água e de regolito.	34
Figura 16 – PFP-01: Muscovita Biotita Granito milonitizado por metamorfismo dinâmico. Granito Cordilheira Norte, onde se situa a FEPAGRO. Unidade 1 da fotointerpretação.....	35

Figura 17 – PFP-02: Muscovita Biotita Granito milonitizado por metamorfismo dinâmico. Granito Cordilheira Norte, onde se situa a FEPAGRO. Unidade 1 da fotointerpretação.....	36
Figura 18 – PFP-03: Muscovita Biotita Granito inequigranular maciço. Granito Cordilheira Sul. Unidade 2 da fotointerpretação.....	37
Figura 19 – PFP-04: Arenito Conglomerático com grânulos de quartzo sub-arredondados. remanescente da Bacia do Paraná. Unidade 3 da fotointerpretação.....	38
Figura 20 – PFP-10: Muscovita Biotita Granito maciço, textura inequigranular. Afloramento em matacões. Granito Cordilheira Sul. Unidade 2 da fotointerpretação.	39
Figura 21 – AAFP-01: Coleta de água em poço cacimba que abastece a FEPAGRO	40
Figura 22 – AAFP-02: Coleta de água em ponto de descarga do lençol freático, contato regolito – rocha. No local também foi amostrado o regolito da área de recarga.....	40
Figura 23 – AAFP-03: Coleta de água de vertente utilizada para abatecimento doméstico	41
Figura 24 – AAFP-04: Coleta de água em poço tubular no meio fraturado, de duas polegadas para abastecimento doméstico.	42
Figura 25 – AAFP-05: Coleta de água em ponto de descarga do lençol freático nas dependências da estação experimental.....	42
Figura 26 – ARFP-01: Local da primeira amostragem do regolito da região da FEPAGRO. (mesma localização de AAFP-01).....	43
Figura 27 – ARFP-02: Coleta de amostra do regolito da área de recarga (mesma localização de AAFP-02)	43
Figura 28 – Ilustração dos diferentes tipos granulométricos.....	45
Figura 29 – Conjunto de peneiras.....	48
Figura 30 – Estufa.....	48
Figura 31 – Gral e pistilo.....	48
Figura 32 – Quarteador.....	48
Figura 33 – Balança Eletrônica de Precisão.	48
Figura 34 – Conjunto de Provetas para separação de materiais finos (< 0,064 mm)	49
Figura 35 – gral e pistilo de ágata.....	51
Figura 36 – Difratômetro de raios X Simens Bruxer	52
Figura 37 – phmetro de bancada	53
Figura 38 – Condutivímetro portátil.....	55
Figura 39 – Mapa geológico da área de estudo gerado em função do trabalho de sensoriamento remoto e do trabalho de campo.	63
Figura 40 – Modelo ideal de circulação da água subterrânea.....	66

Figura 41 – Ilustração esquemática dos dois aquíferos estudados nas cabeceiras do Arroio dos Ladrões.	67
Figura 42 – Aquíferos estudados e fluxo ideal da água subterrânea. Ilustrativo.....	68
Figura 43 – Imagem de satélite mostrando o principal sentido recarga/descarga (N-S) das cabeceiras da Sub-bacia do Arroio dos Ladrões.	69
Figura 44 – Modelo ideal da recarga, fluxo e descarga em situação análoga as cabeceiras da sub-bacia do Arroio dos Ladrões.	70
Figura 45 – Fotos de campo mostrando em "A" ponto de descarga (vertente) captada para abastecimento das casas da estação experimental e em "B" área de descarga de vertente próxima. Notar contaminação do aquífero por dejetos principalmente plásticos.....	71
Figura 46 – Corte esquemático que ilustra a ocorrência de recarga e descarga.....	71
Figura 47 – Coleta de regolito em vossoroca em área da estação experimental.....	72
Figura 48 – Curvas de variações granulométricas dos horizontes do regolito em azul. Em vermelho curvas padrão de diversas granulometrias para efeito comparativo, obtidas de Meinzer (1959).	73
Figura 49 – Resultado da Difração de raios X da amostra total ARFP-01	75
Figura 50 – Resultado da Difração de Raios X da lâmina orientada ARFP-01	75
Figura 51 – Resultado da Difração de raios X da amostra total ARFP-02	76
Figura 52 – Resultado da Difração de Raios X da lâmina orientada ARFP-02.....	76
Figura 53 – Relação do grau de fraturamento com a exploração de água subterrânea no meio fraturado destacando a situação da estação experimental.	78
Figura 54 – Foto aérea mostrando ponto (365300N 6620700E) para locação de obra de captação de água subterrânea em fraturas de pequeno porte.	79

LISTA DE QUADROS

Quadro I –Inventário de poços e vertentes observados em TRABALHO DE CAMPO.....	65
Quadro II – Inventário de poços registrados pelo SIAGAS.....	65
Quadro III- Resultado das análises químicas da água.	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.2. HIPÓTESE	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.4. LOCALIZAÇÃO	18
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	20
2.1. CLIMA	20
2.2. SOLOS.....	23
2.3. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA REGIONAL	24
2.3.1. BACIA DO PARANÁ	25
2.3.2. BATÓLITO PELOTAS.....	27
2.3.3. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMAQUÃ.....	29
2.3.4. SISTEMA AQUÍFERO EMBASAMENTO CRISTALINO III.....	30
3. METODOLOGIA	31
3.1. COMPILAÇÃO DE DADOS	31
3.2. SENSORIAMENTO REMOTO.....	31
3.3. METODOLOGIA DE CAMPO	34
3.4. METODOLOGIA DE LABORATÓRIO.....	44
3.4.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO REGOLITO	44
3.4.2. DIFRAÇÃO DE RAIOS X	49
3.4.3. ANÁLISE QUÍMICA DA ÁGUA.....	52
3.4.3.1. pH.....	53
3.4.3.2. CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	54

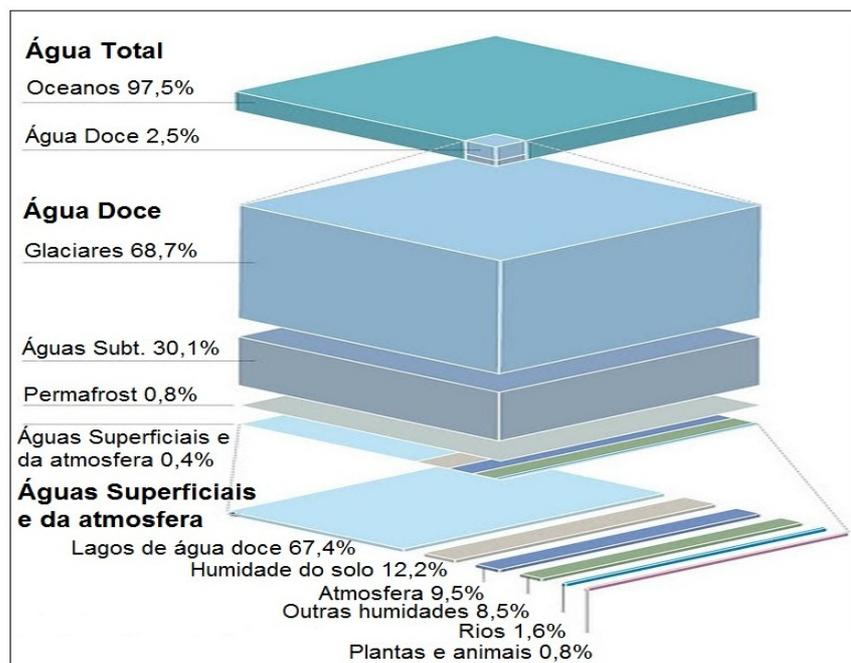
3.4.3.3.	CÁTIONS (Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn).....	55
3.4.3.4.	ÂNIIONS (HCO ₃ , Cl, SO ₄ , NO ₃ , F).....	59
4.	RESULTADOS	61
4.1.	GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	61
4.2.	HIDROGEOLOGIA	64
4.2.1.	INVENTÁRIO DE POÇOS	64
4.2.2.	O SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	66
4.2.3.	AS ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA	69
4.2.4.	O AQUÍFERO FRATURADO SITUADO NAS CABECEIRAS DO ARROIO DOS LADROES: LOCAÇÃO DE PONTO DE CAPTAÇÃO NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL.....	77
4.2.5.	HIDROQUÍMICA.....	80
5.	CONCLUSÕES	82
6.	REFERÊNCIAS	83

1. INTRODUÇÃO

A vida e o sustento da humanidade dependem da água. A procura de água doce com qualidade aumenta continuamente ao ritmo do crescimento populacional. Nas condições atuais, torna-se crucial o aproveitamento de água subterrânea para a agricultura, pecuária, indústria e abastecimento humano, pois esta é a maior e mais segura fonte de água líquida potável existente no planeta. Do ponto de vista quantitativo, os mananciais subterrâneos assumem grande importância como reservas de água doce, consistindo em 30,1% do total, figura 1.

As possibilidades de aproveitamento de água subterrânea variam de local para local e dependem principalmente das condições de precipitação e das características dos aquíferos. Geralmente a água subterrânea é renovada durante certo período do ano, mas pode ser aproveitada durante todo o ano. Desde que a recarga seja adequada e que o aquífero esteja isento de poluição e ou contaminação, a água subterrânea pode ser aproveitada indefinidamente.

Figura 1 – Distribuição percentual da água total no planeta.

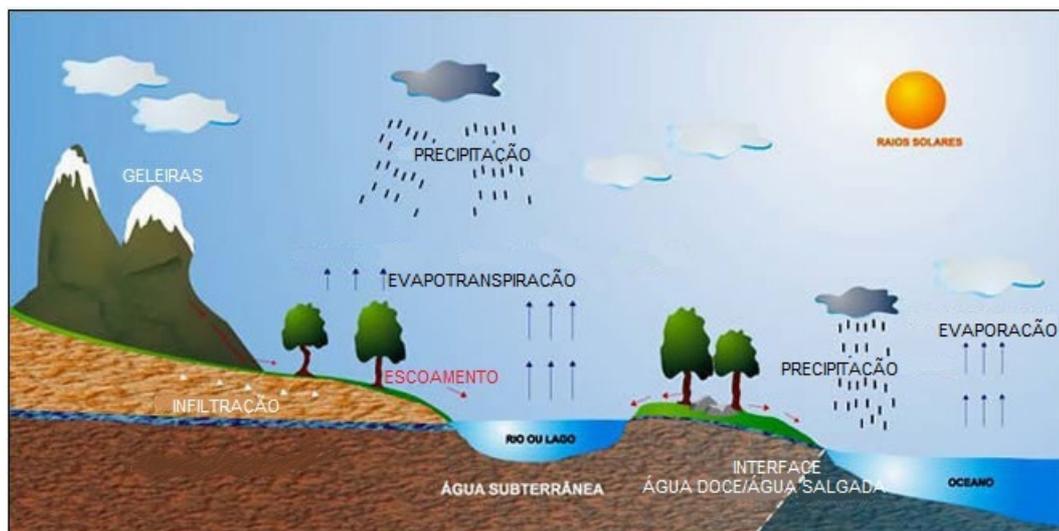


Fonte: WWAP (2006), com base em dados de Shiklomanov e Roddo (2003), modificada por Gonçalves (2011)

Como grande parte dos rios e lagos, próximos a aglomerados humanos, apresentam altos níveis de contaminação fazendo com que o custo do tratamento seja alto, buscar águas subterrâneas com boa qualidade, altas vazões a um custo operacional mais baixo torna-se cada vez mais atrativo para os mais variados segmentos da sociedade (Flores, 2008, p. 17).

O auxílio no controle, planejamento e gerenciamento da exploração das águas subterrâneas dependem muito do entendimento e das diferentes quantificações dos fenômenos existentes no ciclo hidrológico, figura 2.

Figura 2 – Ilustração esquematizando o ciclo hidrológico.



Fonte: Boscardin Borghetti *et al.* (2004), modificado por Gonçalves (2011)

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Regolitos e rochas que tem a capacidade de armazenar e transmitir água com facilidade são chamados aquíferos. Rochas duras cristalinas, cuja permeabilidade e porosidade não permitem a penetração de água denominam-se aquíferos. Regolitos e rochas em que a água penetra, mas não circula denominam-se aquícludes e onde a água circula lentamente chamam-se aquíferos.

Os meios naturais de rochas fraturadas, onde se situa a área proposta para este projeto temático, são anisótopos, ou seja, não apresentam parâmetros hidrodinâmicos constantes como ocorre no meio poroso, se caracterizam por fluxo turbulento, descontínuo, e irregular da água subterrânea. Portanto, na área de estudo ocorrem rochas cristalinas que funcionam como aquíferos, tornando-se aquíferos fraturados principalmente por efeito da tectônica rígida, figura 3.

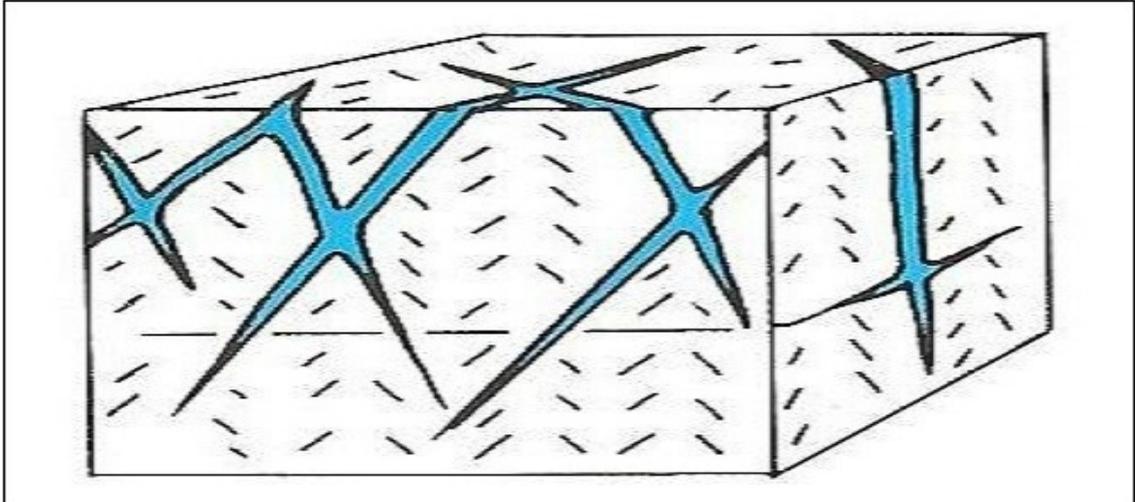
A proposta deste trabalho é estudar a geologia e hidrogeologia do meio fraturado das cabeceiras do Arroio dos Ladrões em uma área de 25 km², no município de Encruzilhada do Sul, Rio Grande do Sul, no sentido de locar obra de captação para abastecer a Estação Experimental FEPAGRO de Encruzilhada do Sul com água em quantidade e qualidade suficientes para apoiar os experimentos agrícolas e pecuários que se realizam nesta instituição de pesquisa.

Segundo Freitas e Machado (2005) a área proposta para o estudo situa-se em aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade por fraturas. No mapa hidrogeológico do RS, publicado pelos autores na escala 1:750.000, a área proposta para o estudo situa-se no sistema aquífero Embasamento Cristalino III, localizado nas porções mais elevadas do escudo. Compõe-se principalmente de rochas graníticas maciças, gnaisses, riolitos e andesitos, pouco alterados. A ausência de fraturas interconectadas e a condição topográfica desfavorável inviabilizam a perfuração de poços tubulares, mesmo para baixas vazões.

Uma das condições aventadas pelos autores, a ausência de interconexão das fraturas, pode ser contestada. Apesar das dificuldades reais para a exploração de água subterrânea na área proposta, parte-se do princípio que um estudo geológico e hidrogeológico mais detalhado da área tenha condições de indicar locais de

captação por poço tubular, com vazões embora modestas, mas que possam suprir as necessidades da estação experimental.

Figura 3 – Exemplo esquemático do funcionamento de aquíferos fraturados por efeito da tectônica rígida (porosidade secundária).



Fonte: Heath (1982)

O fluxograma abaixo sintetiza a estrutura dos tópicos desenvolvidos neste estudo.



Estas condições levaram à possibilidade de avaliar o aproveitamento de água subterrânea para abastecer de modo geral a Estação Experimental através de um estudo geológico, geomorfológico e hidrogeológico das cabeceiras do Arroio dos Ladrões.

1.2. HIPÓTESE

Embora as condições topográficas desfavoráveis e a pouca espessura do manto de alteração sejam fatores negativos para a ocorrência de água subterrânea na área de estudo, a existência de boas condições de precipitação, em torno de 1500 mm/ano (Britto, Barletta & Mendonça, 2008), a relativamente baixa taxa de evapotranspiração em torno de 800 mm/ano (Kuinchtner & Buriol, 2001) e a provável existência de fraturas distensivas interconectadas recomenda a pesquisa de água subterrânea. Espera-se encontrar pontos favoráveis para a perfuração de poço tubular, mesmo que com vazão modesta, mas suficiente para atender as necessidades da estação experimental.

1.3. OBJETIVOS

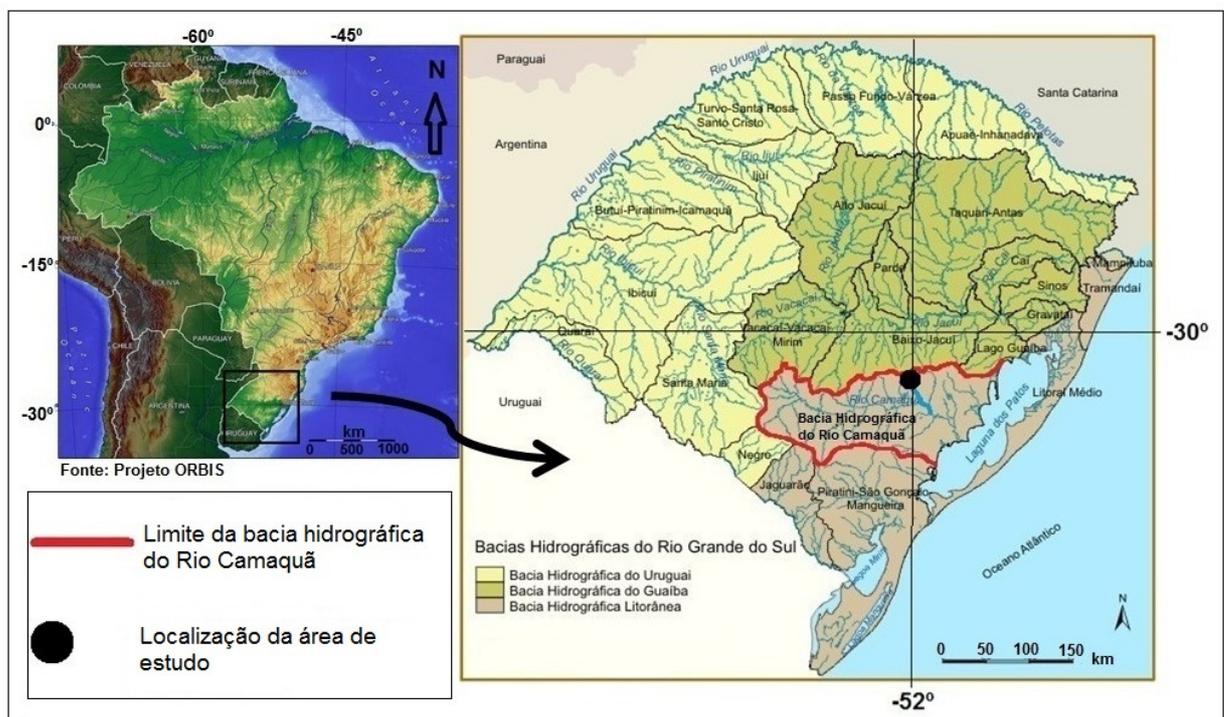
Objetivo Geral: Estudar a geologia e hidrogeologia das cabeceiras do Arroio dos Ladrões em uma área de 25 km² para estabelecer as condições geológicas e hidrogeológicas locais para a exploração de água subterrânea.

Objetivo específico: Estudar em detalhe a geologia e hidrogeologia do sítio onde se encontra estabelecida a Estação Experimental FEPAGRO Encruzilhada do Sul para local obra de captação de água subterrânea visando subsidiar os experimentos agrícolas e pecuários que lá se realizam.

1.4. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está situada no Estado do Rio Grande do Sul, município de Encruzilhada do Sul, nas cabeceiras do Arroio dos Ladrões, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Camaquã, figura 4.

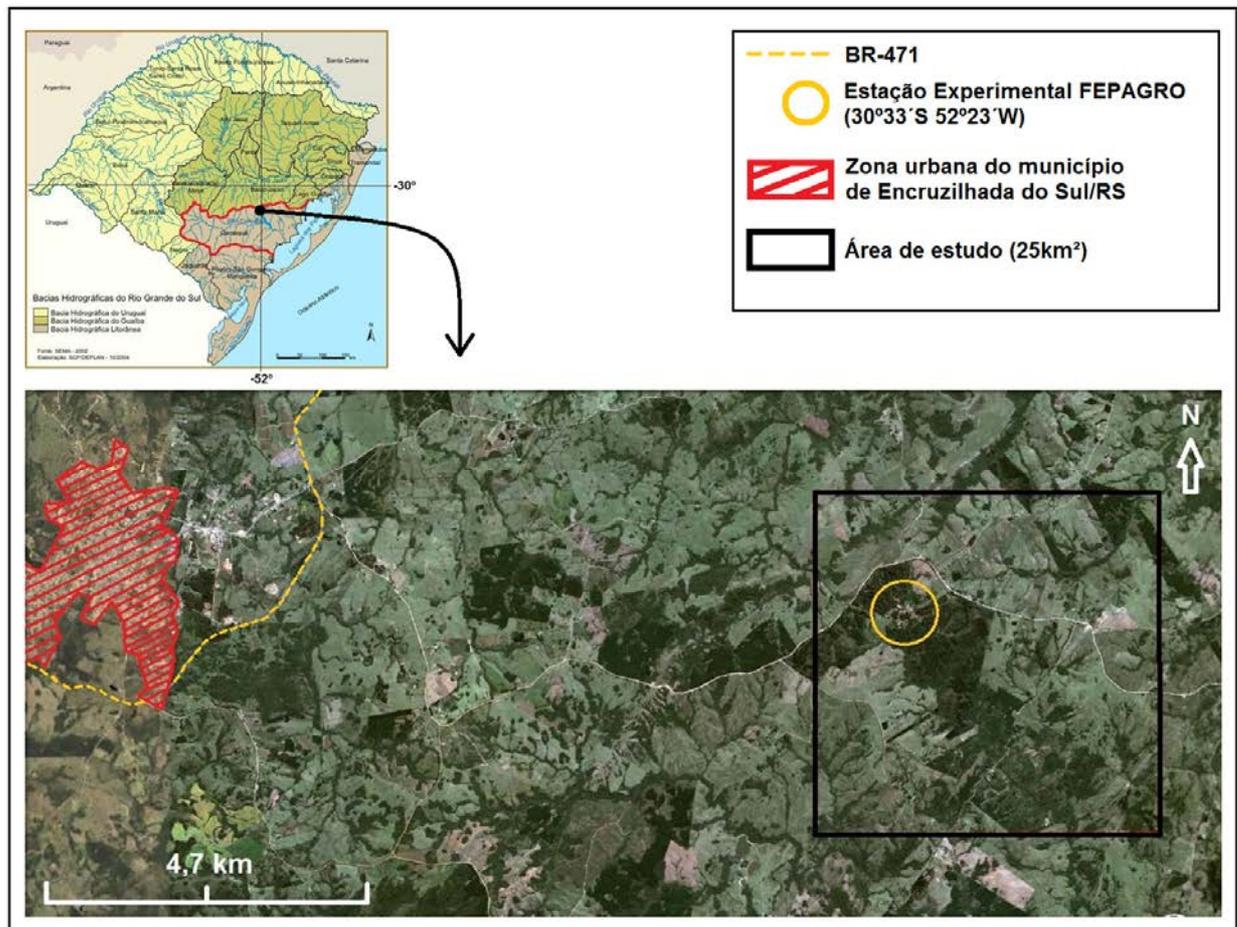
Figura 4 – Localização geográfica destacando primeiro, o estado do Rio Grande do Sul e em seguida, a bacia hidrográfica do Rio Camaquã e a localização da área de estudo.



Fonte: Projeto ORBIS e SEMA (2002), modificado por Gonçalves (2011)

O setor de atuação do projeto possui uma área de aproximadamente 25 km² e é mostrado em detalhe na figura 5.

Figura 5 – Imagem de satélite modificada mostrando a zona urbana do Município de Encruzilhada do Sul/RS, uma das principais vias de acesso, a Estação Experimental FEPAGRO e a área de estudo de 25 km².



Fonte: Google Earth (2008), modificado por Gonçalves (2011)

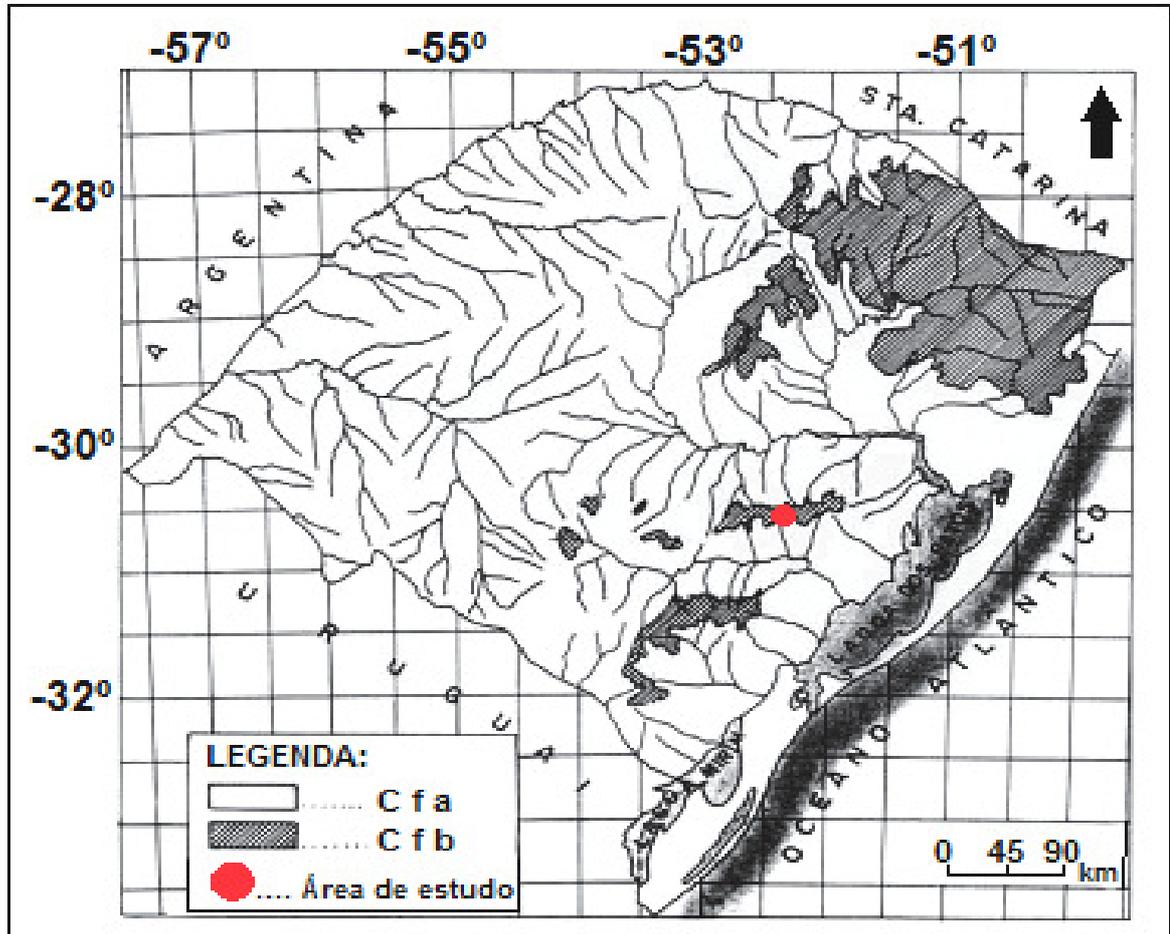
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Para a obtenção dos resultados desejados, torna-se fundamental o conhecimento prévio das principais características da área de estudo. Levando-se em conta o assunto proposto, aspectos importantes como o clima, os tipos de solo, a geologia e a hidrogeologia regional foram tratados em maior detalhe.

2.1. CLIMA

O conhecimento dos dados climáticos existentes na região acaba tendo papel importante para o estudo, pois são dados que contribuem para os fatores que condicionam o abastecimento da área de recarga do aquífero fraturado aqui estudado. Para obtenção destes dados, adotou-se a classificação de Köppen (1931), que se baseia, principalmente, nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação (Kuinchner & Buriol, 2001). Sendo assim, o clima da região, segundo esta classificação, é do tipo Cfb, isto é, temperado úmido, figura 6, caracterizado por temperaturas médias mensais entre 10⁰C e 22⁰ (Kuinchner & Buriol, 2001).

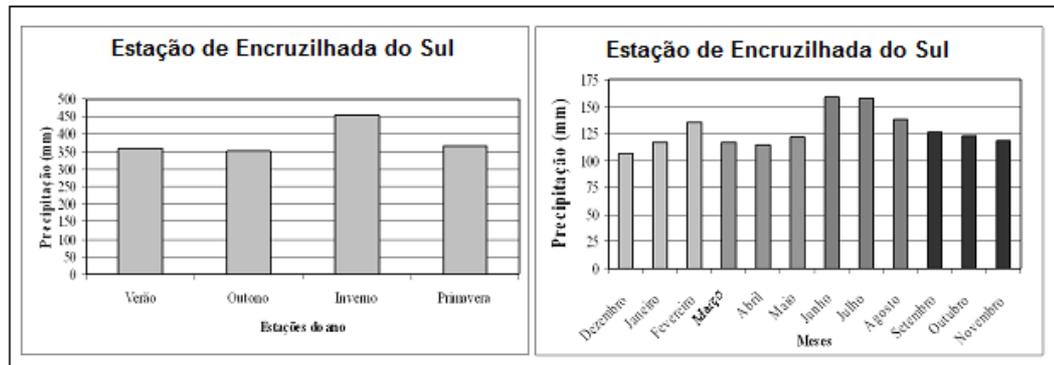
Figura 6 – Tipos climáticos do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação de Köppen (1931). Destacando a área de estudo que corresponde ao clima tipo Cfb (temperado úmido).



Fonte: Kuinhtner e Buriol (2001), modificado por Gonçalves (2011)

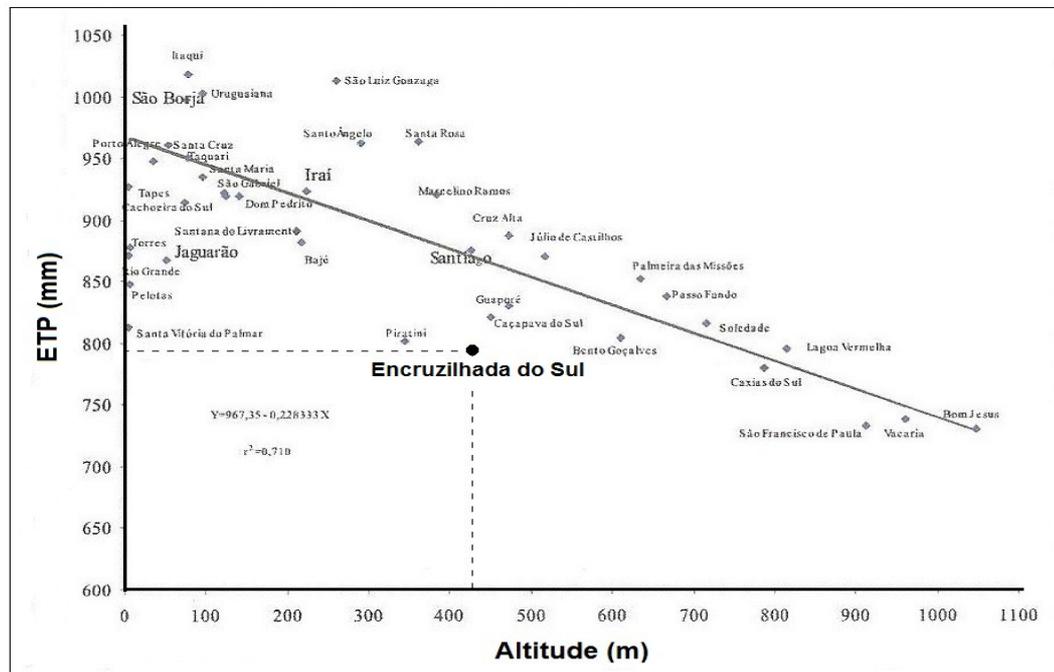
Em relação à distribuição das precipitações na região, as médias anuais ficam em torno de 1500 mm (Britto, Barletta & Mendonça, 2008), figura 7, enquanto os valores de evapotranspiração mantêm uma média anual de 800 mm (Kuinhtner & Buriol, 2001), figura 8. Estes valores combinados acabam disponibilizando uma quantidade aproximada de 700 mm/ano para o escoamento superficial e infiltração.

Figura 7 – Gráficos de precipitação pluvial total sazonal e mensal (1967-1998) do município de Encruzilhada do Sul/RS.



Fonte: Britto, Barletta e Mendonça (2008)

Figura 8 – Gráfico destacando a relação entre a altitude (430 m) e a evapotranspiração potencial média anual (800 mm) da estação meteorológica do município de Encruzilhada do Sul.



Fonte: Kuinchtner e Buriol (2001), modificado por Gonçalves (2011)

Observa-se que tais aspectos climáticos representam fatores positivos nos processos de recarga dos aquíferos, principalmente a taxa regular de precipitação e a relativamente baixa taxa de evapotranspiração.

2.2. SOLOS

O município de Encruzilhada do Sul, situado no noroeste do Planalto Sul-Rio-Grandense, está constituído sobre um embasamento de rochas graníticas diversificadas, denominadas de Escudo Cristalino Sul-Rio-Grandense. Localmente, possui características de um planalto central, onde superfícies aplainadas e serras nas bordas evidenciam a alta dissecação, causada pelos processos erosivos hídricos, próprios dos climas passados. (Cunha *et al.*, 2005, p. 1).

Portanto a ordem de solos encontrada possui características condizentes com a geomorfologia apresentada, principalmente de relevos maciços aplainados alteados em rochas ígneas plutônicas, granitóides.

Assim, na unidade morfoestrutural em que se concentraram os estudos, confirmou-se a presença de rochas ígneas plutônicas, principalmente granitos, o que determinam este tipo de relevo maciço aplainado alteado, classificado como planalto erosivo. Como visto anteriormente, a temperatura média do mês mais quente gira em torno de 22°C e as precipitações médias anuais em torno de 1500 mm. Estas condições de clima, relevo e material de origem, geram principalmente solos de textura areno argilosa sendo classificados, na região, como regossolo, figura 9.

São solos minerais pouco desenvolvidos, não hidromórficos, medianamente profundos ou mais espessos (A+C 50 cm), tendo sequência de horizonte A-C, ou A-Cr, textura normalmente arenosa, contendo na fração areia e/ou cascalhos apreciáveis teores (>4%) de minerais facilmente intemperizáveis. (Fundação de Ciência e Tecnologia [CIENTEC] (1995).

É comum os regossolos predominantemente arenosos apresentarem alta erodibilidade, especialmente quando o relevo se torna mais declivoso. Também, em decorrência da sua composição granulométrica, a permeabilidade é muito rápida e há baixa capacidade de retenção de umidade. (CIENTEC, 1995).

Figura 9 – Fotos mostrando o relevo maciço aplainado alteado e, em destaque, o tipo de solo da região classificado como regossolo.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

2.3. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA REGIONAL

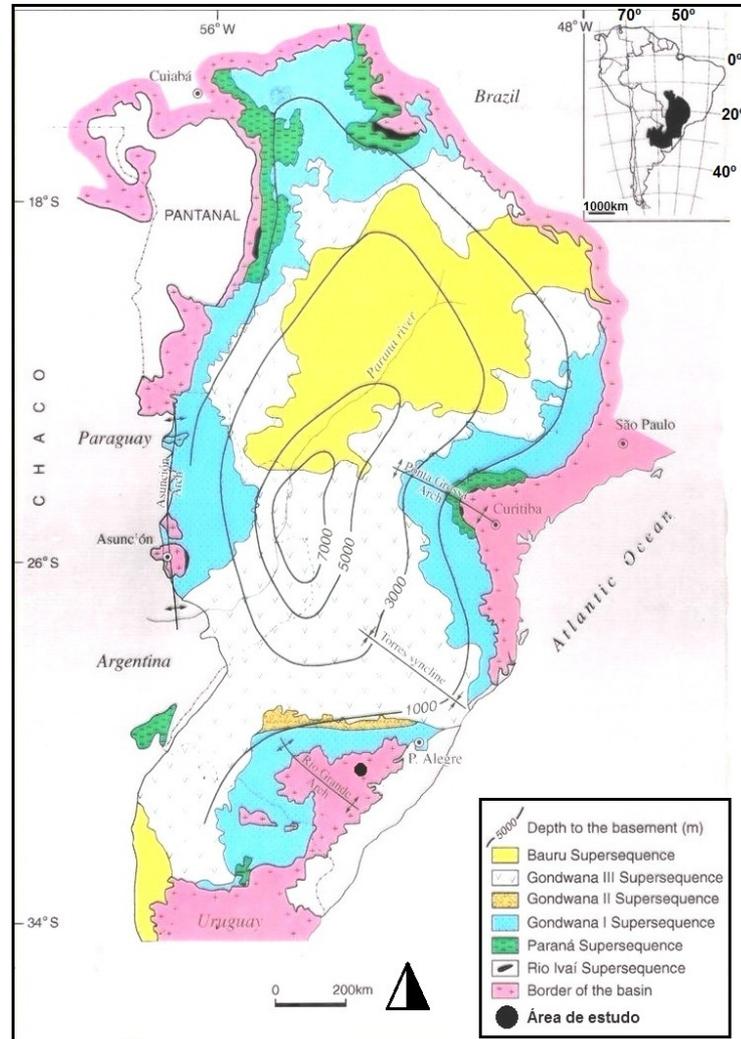
Assim como o clima, o conhecimento aprofundado da geologia e da hidrogeologia regional tem papel importante para o assunto estudado, pois também são fatores que podem determinar as principais características e o comportamento do aquífero fraturado local, devido às diversas dinâmicas que estes dois fatores podem apresentar. A região onde se concentra o estudo sofre influência das unidades geológicas da bacia do Paraná e, no Escudo Cristalino Sul-Rio-Grandense, o Batólito Pelotas. Em relação à influência dos aspectos hidrogeológicos é destacado, em superfície, a Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã enquanto em sub-superfície, destaca-se o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino III.

2.3.1. BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná é uma ampla região sedimentar do continente sul-americano que inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,5 milhão de quilômetros quadrados, figura 10. A bacia tem uma forma ovalada com eixo maior N-S, sendo seu contorno atual definido por limites erosivos relacionados em grande parte à história geotectônica meso-cenozóica do continente. (Milani, Melo, Souza, Fernandes & França, 2007, p. 1).

No decorrer do Fanerozóico (< 542 Ma), a bacia que no seu centro atinge uma profundidade de 7.000 m (até chegar ao embasamento pré - cambriano), foi preenchida com sedimentos marinhos (época de inundações marinhas), arenitos eólicos (época de megadesertos) e basaltos (época de fluxos de lavas vulcânicas). As formações mais antigas como a sequência Rio Ivaí (450 Ma) estão expostas na borda da bacia e as formações mais recentes como a sequência Bauru (90 Ma) no centro. Destaca-se a sequência Gondwana III (150 - 130 Ma) que compõe os derrames basálticos da formação Serra Geral que se instalaram sobre os arenitos eólicos dos paleodesertos Pirambóia e Botucatu. (<http://www.brazadv.com.br/brasil-geologia/bacia-do-parana.htm>).

Figura 10 – Mapa geológico e estrutural do embasamento da Bacia do Paraná destacando a área de estudo.



Fonte: Milani (1997), modificado por Gonçalves (2011)

2.3.2. BATÓLITO PELOTAS

Do ponto de vista geológico a área proposta para este estudo situa-se no Batólito Pelotas, (Philipp & Machado, 2001), e dentro deste, na Suíte Granítica Cordilheira (SGC), figura 11.

O Batólito Pelotas está situado na porção leste do escudo Sul-Rio-Grandense. Apresenta no Rio Grande do Sul extensão aproximada de 370 km e largura de 110 km. (Shukowsky *et al.* 1991; Hallinan *et al.*, 1993 citado por Philipp & Machado, 2001, p. 01).

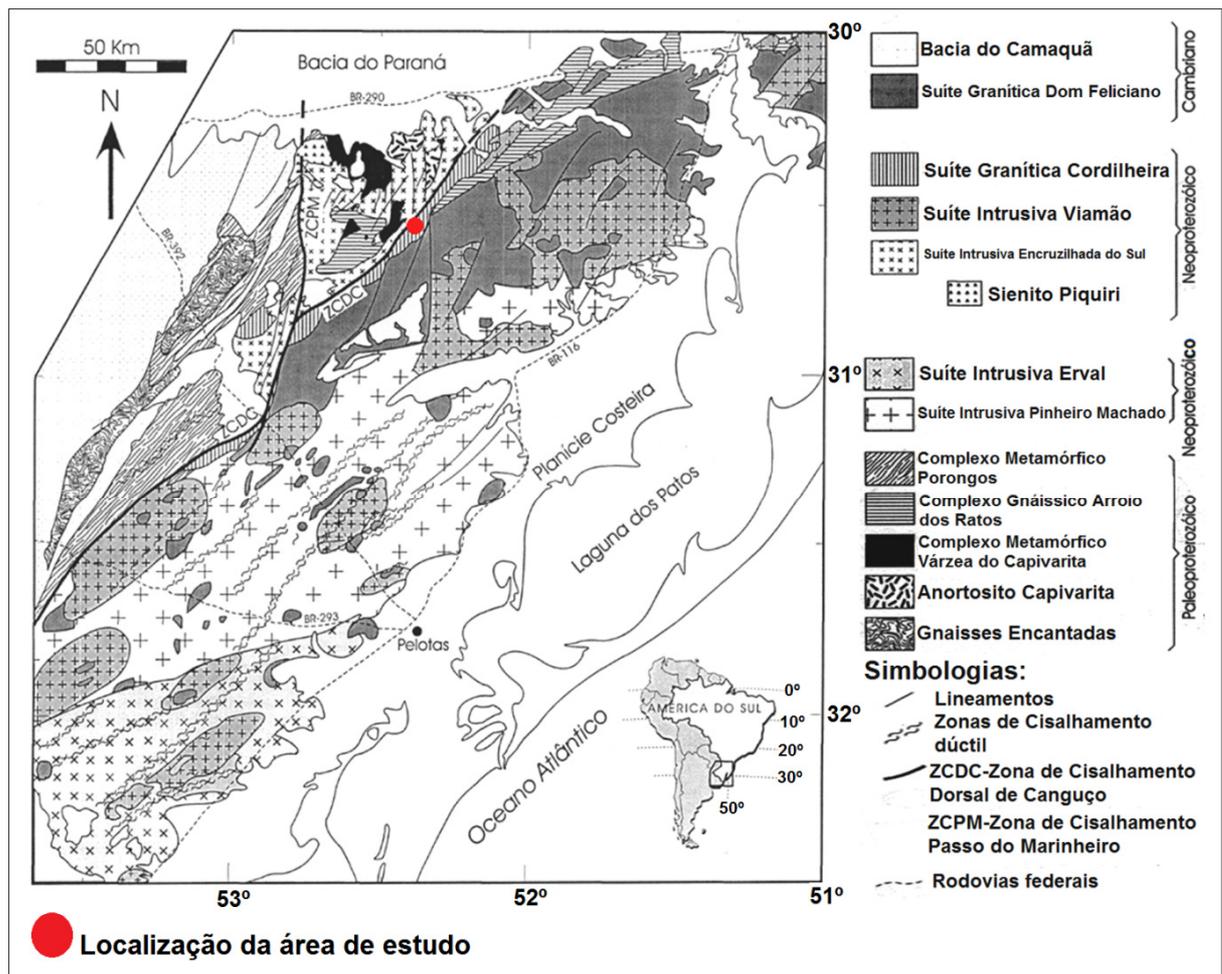
O batólito foi originalmente definido como um complexo plutônico multi intrusivo e polifásico, resultante de uma longa evolução, conseqüente da adição de distintos processos tectônicos (Fragoso Cezar *et al.*, 1986 citado por Philipp & Machado, 2001, p. 01).

Segundo Philipp e Machado (2001) "neste batólito são reconhecíveis seis suítes graníticas: Suítes intrusivas Pinheiro Machado (SIPM), Herval (SIE), Viamão (SIV), Encruzilhada do Sul (SIES), Cordilheira (SGC) e Dom Feliciano (SGDF)." (p. 01). Na área de estudo ocorre a Suíte Granítica Cordilheira. Os leucogranitos desta suíte ocorrem na extremidade oeste do Batólito e perfazem cerca de 5% de sua área. São corpos alongados na direção NE, tabulares, concordantes com a Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e posicionados sintectonicamente em relação à mesma (Picada 1969 e 1971; Fernandes *et al.* 1990; Koester 1995; Nardi & Frantz 1995). São englobados na suíte os granitos Cordilheira (Picada, 1965), Arroio Francisquinho (Universidade Federal do Rio Grande do Sul [UFRGS] (1993), Figueiras (Tessari & Picada, 1966) e Três Figueiras (Philipp, 1998)).

A composição da Suíte Granítica Cordilheira varia de sienogranítica a granodiorítica, com moscovita, biotita, turmalina, granada, monazita, zircão e minerais opacos. Os corpos da suíte afloram extensamente desde a região de São Jerônimo-Quitéria até Pinheiro Machado. São granitos brancos a cinzentos, com pontuações escuras de biotita. A estrutura é foliada, marcada nas zonas de baixa de deformação pela

orientação de moscovita primária e biotita. A foliação possui duas orientações: uma subhorizontal, magmática, com moscovita orientada, e outra subvertical, tectônica, sobretudo em regiões de alta deformação, nas bordas dos corpos, sendo associada às zonas de Cisalhamento dúcteis. Os milonitos e protomilonitos contêm porfiroclastos assimétricos de feldspato potássico, plagioclásio e moscovita (Philipp & Machado, 2001, p. 08)

Figura 11 – Mapa geológico do Batólito Pelotas e suas suítes intrusivas mostrando a localização geológica da área de estudo.



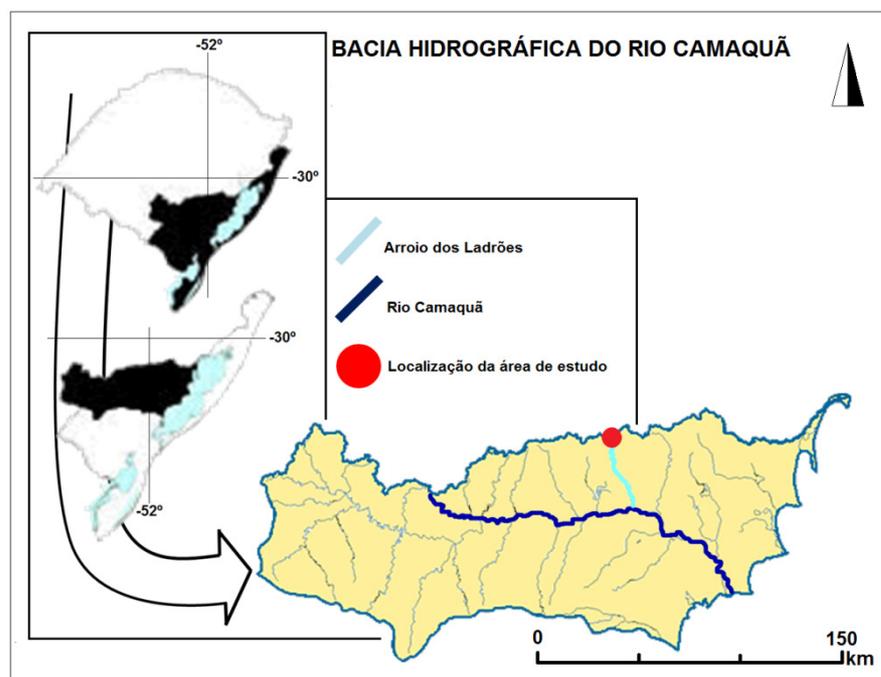
Fonte: Philipp e Machado (2001), modificado por Gonçalves (2011)

2.3.3. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMAQUÃ

A Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, onde no limite norte está situada a área de estudo,

está localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28°50' a 30° 00' de latitude Sul e 52° 15' a 53° 00' de longitude Oeste, figura 12. As províncias geomorfológicas abrangidas pela bacia hidrográfica são o Escudo Sul-Rio-Grandense e a Planície Costeira. A bacia ainda tem como principais corpos hídricos, o Rio Camaquã que é formado pelo Arroio Camaquã e o Arroio do Hilário principalmente. Este último é formado pelos Arroios dos Carros e Teixeira (Paim & Santos, 2008, p. 131).

Figura 12 – Mapa esquemático detalhando a Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, o próprio Rio Camaquã, o Arroio dos Ladrões e a localização da área de estudo.



Fonte: retirado de site da fepam/RS, modificado por Gonçalves (2011)

2.3.4. SISTEMA AQUÍFERO EMBASAMENTO CRISTALINO III

O sistema aquífero Embasamento Cristalino III possui características de aquífero fraturado ou fissural. Este tipo de aquífero é formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico (SMA, 2003).

Nestes aquíferos, a água só pode fluir onde houver fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Especificamente, este sistema localiza-se nas porções mais elevadas do escudo cristalino e é composto principalmente de rochas graníticas maciças, gnaisses, riolitos e andesitos, pouco alterados.

3. METODOLOGIA

Toda a conduta adotada para se obter êxito no estudo, gerar dados confiáveis e obter conclusões concretas, depende da escolha e execução correta da metodologia. Os trabalhos preliminares, como a compilação de dados, levantamento cartográfico e sensoriamento remoto, o posterior trabalho realizado em campo para conhecimento local e coleta de material e finalmente o trabalho realizado nas análises laboratoriais, são complementares e são tratados a seguir.

3.1. COMPILAÇÃO DE DADOS

No início do estudo, foi feita pesquisa bibliográfica relevante a área e ao assunto estudado, ou seja, principalmente sobre a geologia e a hidrogeologia regional da área de estudo. Além disso, foi feita uma busca de documentação cartográfica base para as atividades de mapeamento em escala 1: 50.000 (Serviço Geográfico do Exército, Carta Delfino, folha SH. 22-Y-B-IV-1), o levantamento de dados da hidrogeologia regional, aspectos climáticos e a ocupação e uso das águas. Para completar a compilação de dados, ainda foi feita pesquisa de cadastro de poços da região disponíveis em órgãos governamentais (CPRM-SIAGAS).

3.2. SENSORIAMENTO REMOTO

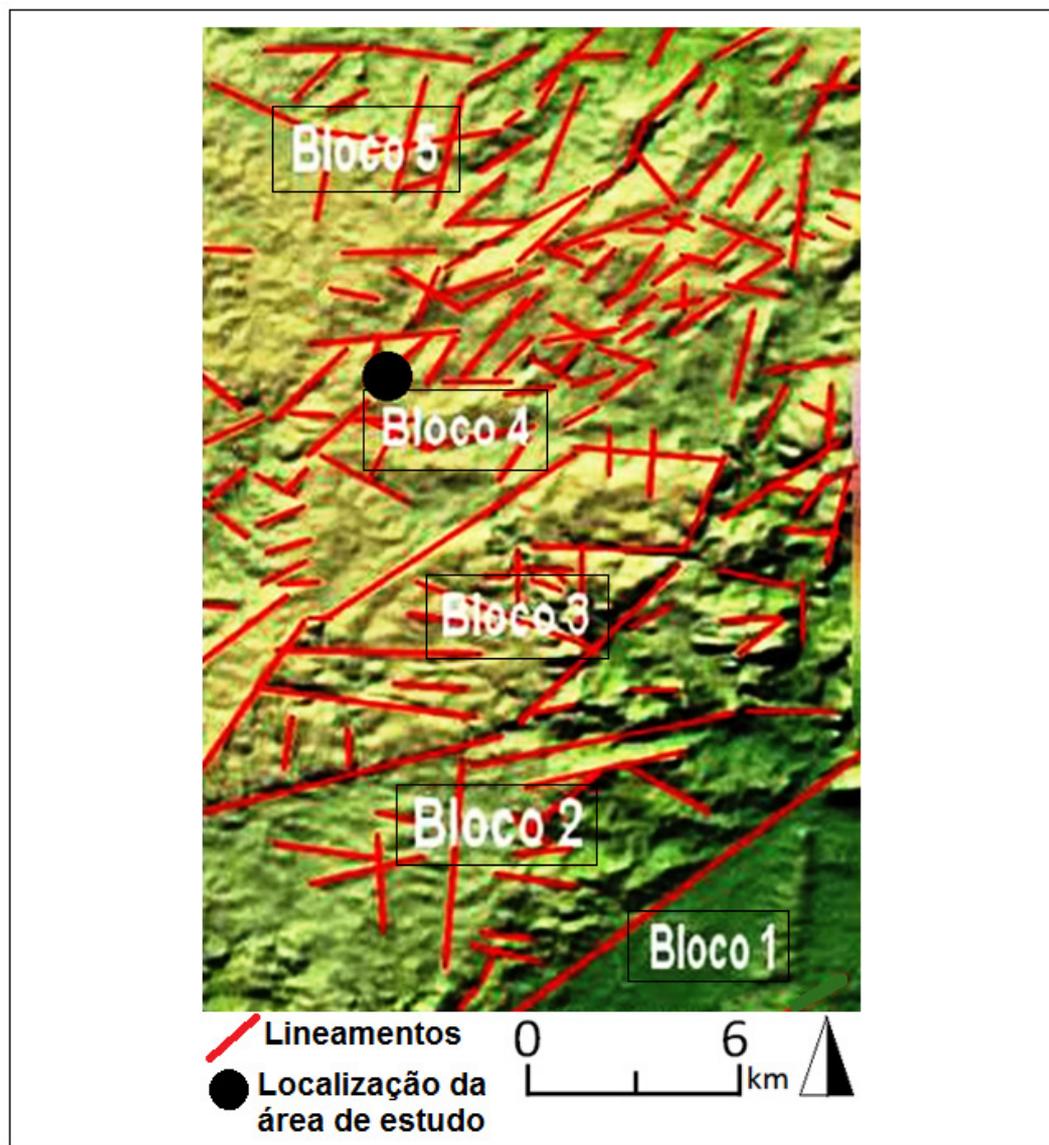
Nesta fase foram feitas análises de imagens orbitais e fotografias aéreas visando o reconhecimento geomorfológico, litológico e estrutural área de estudo, bem como, a hidrografia da sub-bacia do Arroio dos Ladrões e as suas possíveis áreas de recarga, armazenamento e descarga dos aquíferos.

A imagem orbital utilizada foi processada no Laboratório de Propulsão a Jato (Jet Propulsion Laboratory_JPL) da NASA, e são distribuídos através do United

Geological Survey's Eros Data Center. A cobertura dos dados abrange a maior parte da superfície da Terra entre as latitudes 600 Norte e 560 Sul.

Nesta imagem orbital, foram traçados lineamentos de médio e pequeno porte e individualizados 5 blocos morfoestruturais, sendo que a área de estudo ocorre no Bloco 4, figura 13.

Figura 13 – Imagem orbital mostrando lineamentos de pequeno e médio porte trabalhados na região de estudo.

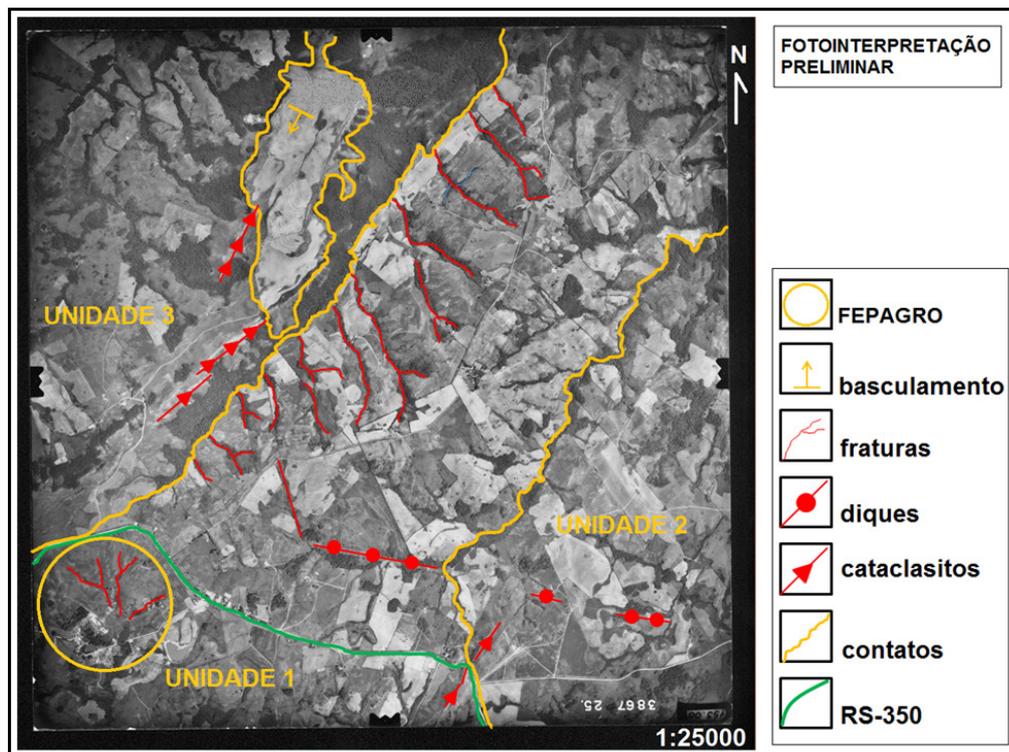


Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Nas fotografias aéreas em escala 1: 25.000 da região da FEPAGRO Encruzilhada do Sul foram traçados lineamentos com base no estudo e interpretação das fotos, assim como os contatos entre as litologias aflorantes da área, auxiliando no detalhamento geológico da região, figura 14.

Neste estudo foram encontradas três principais unidades litológicas, sendo a unidade 1 caracterizada por um relevo maciço suavizado e drenagem com textura grossa e padrão angular. Nas bordas, microformas em lageados indicando milonitos e cataclasitos, foi observado também a presença de intrusão do tipo dique associado a fraturas distensivas com direção NW. Nesta unidade situa-se a FEPAGRO, área alvo para a locação de poço tubular, granitóide 1. Como na unidade 1, a unidade 2 também se caracteriza por relevo maciço, drenagem com textura grossa e padrão de drenagem angular, Granitóide 2. Enquanto na unidade 3 as principais características mostram relevo em cuesta, basculamento para sudoeste e drenagem de textura grossa, padrão subparalelo, Arenito.

Figura 14 – Fotointerpretação preliminar realizada em foto aérea 1:25000 da região da FEPAGRO

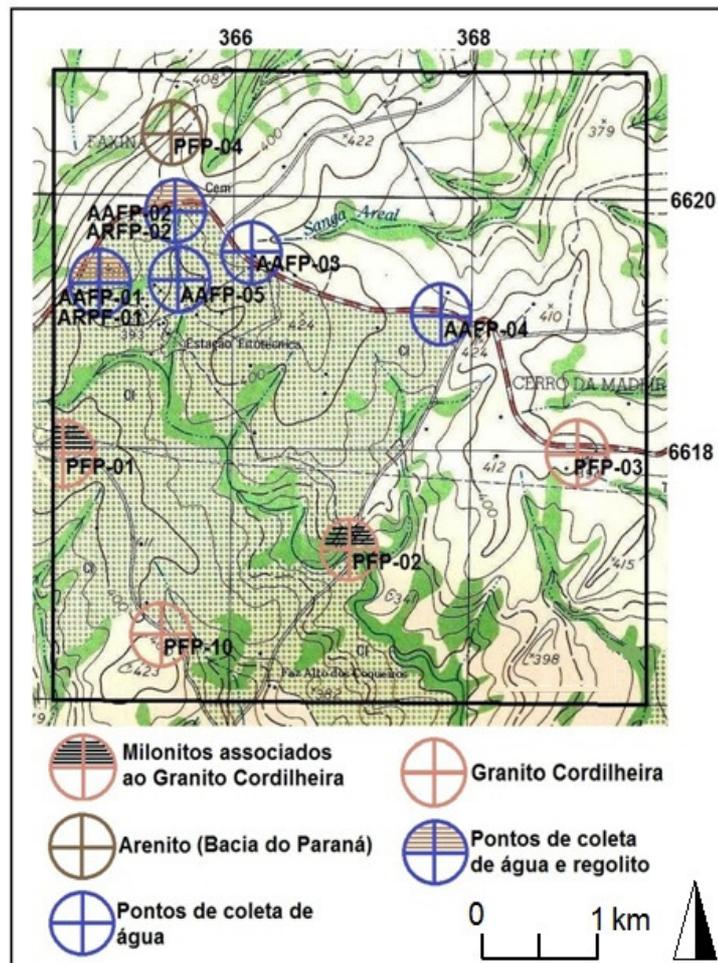


Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

3.3. METODOLOGIA DE CAMPO

A etapa de campo foi realizada durante o mês de maio de 2011 tendo como sede o município de Encruzilhada do Sul/RS e como material base a carta do exército 1: 50.000 da região de Delfino (MI-2998/1). Com o intuito de detalhar a região, foi feito o mapeamento geológico-hidrogeológico da área de estudo com levantamento de dez pontos de geologia e hidrogeologia, abrangendo cinco pontos de descrição litológica, cinco para amostragem e análise de água superficial e subterrânea e, dentre os cinco últimos, dois para amostragem e análise do regolito, figura 15.

Figura 15 – Mapa de pontos confeccionado segundo o trabalho de campo realizado, distinguindo pontos de geologia, coletas de água e de regolito.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Dos dez pontos levantados em campo, cinco tiveram o objetivo de caracterizar a litologia presente na área de estudo. Com auxílio de GPS foi feita a localização destes pontos, além de descrição rotineira dos afloramentos encontrados e coleta de amostras de rocha.

No primeiro ponto (PFP-01 (UTM: 364541N 6618063E)) foi encontrado afloramento de rocha do tipo lajeado apresentando alteração. O afloramento é composto por rocha granitóide milonitizada, apresentando foliações claras (formadas principalmente por muscovita e K-feldspato) e escuras (formadas principalmente por biotita). Apesar da presença da visível foliação, a rocha é composta principalmente por muscovita, biotita e feldspato, características do Granito Cordilheira, figura 16.

Figura 16 – PFP-01: Muscovita Biotita Granito milonitizado por metamorfismo dinâmico. Granito cordilheira Norte, onde se situa a FEPAGRO. Unidade 1 da fotointerpretação.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

O segundo ponto (PFP-02 (UTM: 367005N 6617244E)) foi encontrado em beira de estrada. O mesmo tipo litológico, caracterizado por granitóide rico em muscovita e biotita foliado encontrado no primeiro ponto, ainda tratando-se da mesma unidade litológica vista na fotointerpretação preliminar, figura 17.

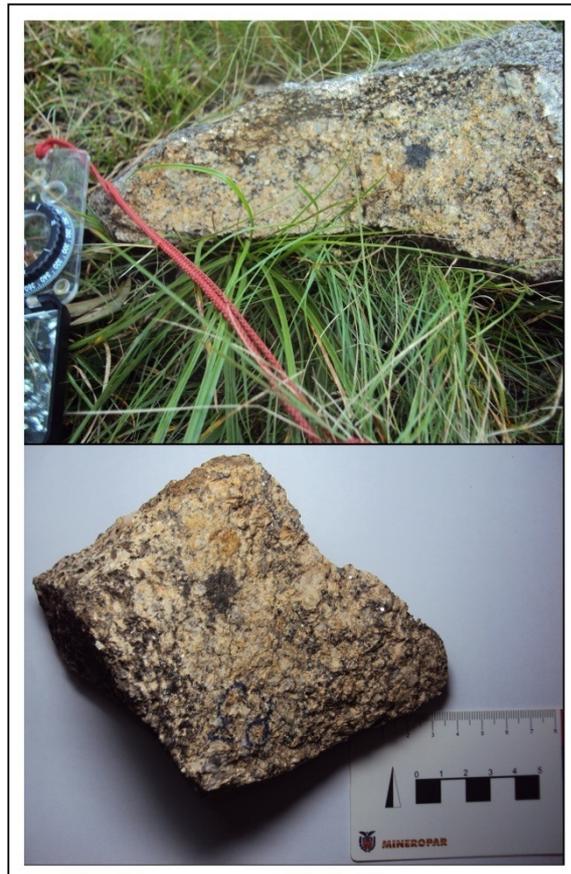
Figura 17 – PFP-02: Muscovita Biotita Granito milonitizado por metamorfismo dinâmico. Granito cordilheira Norte, onde se situa a FEPAGRO. Unidade 1 da fotointerpretação.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

No terceiro ponto (PFP-03 (UTM: 368952N 6618034E)) encontrou-se afloramento caracterizado por campo de matacões em beira de estrada. Representando unidade 2 da fotointerpretação que mostra rocha granitóide com estrutura maciça e composição semelhante. Muscovita Biotita Granito, figura 18.

Figura 18 – PFP-03: Muscovita Biotita Granito inequigranular maciço. Granito Cordilheira Sul. Unidade 2 da fotointerpretação.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Seguindo no estudo litológico, o quarto ponto (PFP-04 (UTM: 365477N 6620493E)) caracteriza-se por matacões em beira de estrada desta vez caracterizado por rocha sedimentar, mais precisamente um arenito conglomerático com presença de grânulos de quartzo sub-arredondados, representando a unidade 3 do estudo preliminar fotogeológico, figura 19.

Figura 19 – PFP-04: Arenito conglomerático com grânulos de quartzo sub-arredondados remanescente da Bacia do Paraná. Unidade 3 da fotointerpretação.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

O quinto ponto do estudo litológico regional (PFP-10 (UTM: 365414N 6616530E)) caracterizou-se por matacão de rocha granitóide de estrutura maciça, feições que caracterizam a unidade 2, onde se encontra o mesmo Muscovita Biotita Granito, (Granito Cordilheira) como no terceiro ponto, figura 20.

Figura 20 – PFP-10: Muscovita biotita granito maciço, textura inequigranular afloramento em matacões. Granito Cordilheira Sul. Unidade 2 da fotointerpretação.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Após o estudo geológico regional, foram inventariados cinco pontos de água, sendo quatro no nível superficial e um no meio fraturado, onde foram realizadas as coletas. O primeiro ponto de coleta de água (AAFP-01 (UTM: 364943N 6619300E)) fica localizado nas dependências da FEPAGRO. A coleta foi realizada em água de vertente, poço cacimba utilizado para abastecimento das casas da estação experimental, figura 21.

Figura 21 – AAFP-01: Coleta de água em poço cacimba que abastece a FEPAGRO



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

A segunda coleta de água (AAFP-02 (UTM: 365502N 6619867E)) foi realizada em vertente também localizada nas dependências da estação experimental, figura 22.

Figura 22 – AAFP-02: Coleta de água em ponto de descarga do lençol freático, contato regolito – rocha. No local também foi amostrado o regolito da área de recarga



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

O terceiro ponto de coleta de água (AAFP-03 (UTM: 366165N 6619570E)) também se caracterizou por coleta de água de vertente e foi realizado em residência particular (Acelino Ribeiro dos Santos), localizada fora da bacia do Rio Camaquã, já fazendo parte da bacia do Baixo Jacuí, figura 23.

Figura 23 – AAFP-03: Coleta de água de vertente utilizada para abastecimento doméstico



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

O quarto ponto de coleta de água (AAFP-04 (UTM: 367776N 6619082E)) foi realizado em poço tubular de propriedade particular (Geni). O poço tem profundidade de 38 metros e vazão de bombeamento de aproximadamente 1300 L/h. Portanto foi feita coleta de água subterrânea ocorrendo efetivamente no meio fraturado, figura 24.

Figura 24 – AAFP-04: Coleta de água em poço tubular no meio fraturado, de duas polegadas para abastecimento doméstico.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

O quinto e último ponto de coleta de água (AAFP-05 (UTM: 365548N 6619344E)) também fica localizado em vertente dentro das dependências da estação experimental já que se trata da região de maior interesse do estudo, figura 25.

Figura 25 – AAFP-05: Coleta de água em ponto de descarga do lençol freático nas dependências da estação experimental.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

No primeiro e no segundo pontos de coleta de água (AAFP-01 e AAFP-02) foram coletados também amostras do regolito (ARFP-01 e ARFP-02). Ambos se localizam dentro das dependências da FEPAGRO que é onde se concentram as maiores atenções do estudo, figuras 26 e 27.

Figura 26 – ARFP-01: Local da primeira amostragem do regolito da região da FEPAGRO. (mesma localização de AAFP-01)



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Figura 27 – ARFP-02: Coleta de amostra do regolito da área de recarga (mesma localização de AAFP-02)



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Os dados levantados têm como objetivo produzir um mapa litológico e estrutural da área do projeto que subsidie a locação de futura obra de captação, um poço tubular que atinja o meio fraturado, bem como, fornecer subsídios para os estudos de laboratório (análise granulométrica, difratometria de raios X e análise química da água), para definir as condições da área de recarga e a qualidade da água do aquífero estudado.

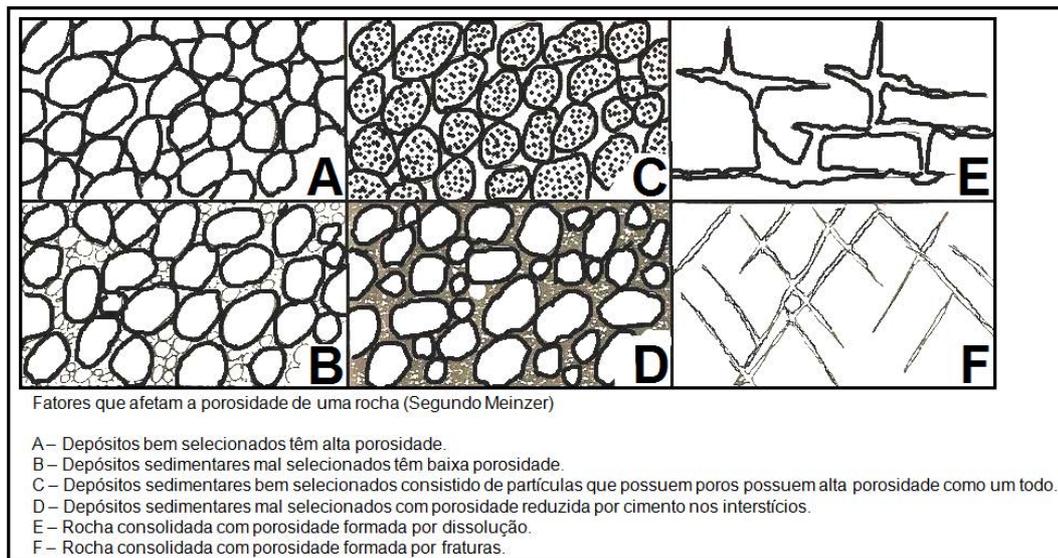
3.4. METODOLOGIA DE LABORATÓRIO

Foi realizada a análise granulométrica do regolito da área de recarga, a análise mineralógica dos argilominerais por difratometria de raios x do mesmo regolito e análise química das amostras de água coletadas nos pontos selecionados do inventario de poços e vertentes.

3.4.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO REGOLITO

Esta técnica foi utilizada em duas amostras representativas (ARFP-01 e ARFP-02) coletadas nas dependências da estação experimental visando determinar os padrões granulométricos do regolito, figura 28, da área de recarga estabelecendo as curvas granulométricas segundo Twenhofel W.H. e estabelecer assim, a permoporosidade do meio.

Figura 28 – Ilustração dos diferentes tipos granulométricos.



Fonte: Health (1988).

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Na realidade, estas três formas têm sido utilizadas. (Dias, 2004, p. 10).

O método mais divulgado para efetuar a análise granulométrica de sedimentos grosseiros é o da peneiração. Um peneiro para este tipo de análise sedimentológica consiste num suporte metálico (latão, alumínio, inox, etc.) cilíndrico que serve de suporte a uma rede (geralmente metálica, mas que, em alguns casos, pode ser de outro material, designadamente plástico) de malha calibrada, figura 29.

Os peneiros estão concebidos para poderem ser encaixados uns nos outros de modo a formarem uma coluna de peneiração. Na parte superior desta coluna existe uma tampa para evitar perdas de material durante a peneiração, e na base encaixa-se um peneiro "cego", denominado "pan", destinado a receber as partículas menores que atravessaram toda a coluna sem serem retidos em nenhum dos peneiros. A escolha da série de peneiros é função dos objetivos. Para análises rápidas utiliza-se, normalmente, uma série de peneiros (fig. 15) de ϕ em ϕ , isto é, peneiros com malhas de 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,250mm, 0,125mm e 0,063mm.

Para se efetuar a análise granulométrica há que garantir que a dimensão da população de partículas (isto é, o peso da amostra) é estatisticamente válida. Caso tal não aconteça, corre-se o risco dos resultados de todo o trabalho de análise granulométrica, bastante moroso, não terem significado. (Dias, 2004, p. 14).

As amostras estudadas passaram por completa secagem. Utilizou-se, para tal, uma estufa regulada para uma temperatura relativamente baixa, da ordem dos 60°C por um tempo aproximado de 24h, figura 30. Desagregou-se fisicamente a amostra com o auxílio de pistilo e gral de porcelana, figura 31. A amostra seca e desagregada foi quarteada visando-se obter uma porção representativa da mesma, figura 32. A porção quarteada foi cuidadosamente pesada (balança eletrônica com precisão de quatro casas decimais), figura 33, de modo a poderem estimar-se eventuais perdas que possam ocorrer durante o processo de peneiração e de pesagem das frações de peneiração. O tempo de peneiração é função do peso da amostra a peneirar. Aceita-se, normalmente, que 10 a 15 minutos são suficientes para peneirar uma amostra média. Após a peneiração, foi pesado cuidadosamente o material retido em cada um dos filtros. São as frações de peneiração. É normal que o peso total das frações de peneiração seja um pouco inferior ao da amostra original, devido a partículas que se perderam em todo o processo. São aceitáveis perdas até 1% do

peso original. (modificado de J. Alveirinho Dias (2004)). Os resultados dos procedimentos citados são apresentados em uma ficha laboratorial (vide apêndice) que são posteriormente aplicados em software chamado PANICOM que através de dados estatísticos revelam os resultados finais.

Figura 29 – Conjunto de peneiras.



Fonte: Forni (2010)

Figura 32 – Quarteador.



Fonte: Forni (2010)

Figura 30 – Estufa.



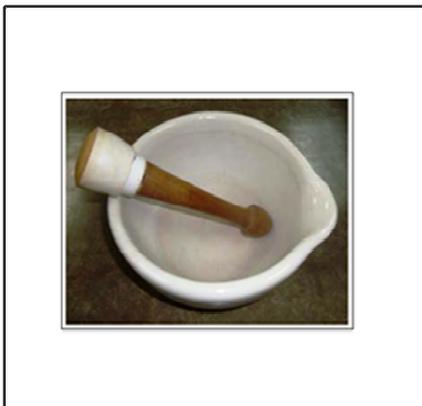
Fonte: Forni (2010)

Figura 33 – Balança Eletrônica de Precisão.



Fonte: Forni (2010)

Figura 31 – Gral e pistilo.



Fonte: Forni (2010)

Para a análise das porções mais finas ($< 0,062$ mm) realizou-se, dispersão das mesmas em água destilada e colocadas em repouso para sedimentação em provetas de 1.000 ml, figura 34. Acrescentou-se 2,0 g de pirofosfato, procedimento que visa impedir a floculação. O silte vai assentar no fundo deixando minerais, tamanho argila, dispersos.

Nesta etapa foi coletado com pipeta, 20 ml da amostragem para o tamanho argila e depositado em copo de Becker para secagem na estufa por 18 horas a 70°C sendo, após este período, realizada a pesagem dos volumes para o tamanho argila.

Figura 34 – Conjunto de Provetas para separação de materiais finos ($< 0,064$ mm)



Fonte: Forni (2010)

3.4.2. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As mesmas amostras de regolito submetidas à análise granulométrica foram analisadas quanto a sua principal mineralogia e principais argilominerais através da análise da difração de raios X.

Dentre as várias técnicas de caracterização de materiais, a técnica de difração de raios X é a mais indicada na determinação das fases cristalinas presentes nas amostras. Isto é possível porque na maior

parte dos sólidos (cristais), os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios X. Ao incidir um feixe de raios X em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração (Albers, Melchiades, Machado, Baldo & Boschi, 2002, p. 34).

A identificação das fases e do grau de cristalinidade da amostra é realizada mediante técnica de difratometria de raios X (DRX). A identificação das fases presentes é baseada na comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão coletado e mantido pelo JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

Dentre as vantagens da técnica de difração de raios X para a caracterização de fases, destacam-se a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos (pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina), a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases. (Piccoli, Mexias, Figueira, Montedo & Bertan, 2006, p. 292).

Segundo Albers et al., 2002 "Ao se caracterizar argilominerais, a utilização da técnica de difração de raios X torna-se ainda mais indicada, pois uma análise química reportaria os elementos químicos presentes no material, mas não a forma como eles estão ligados." (p. 34).

A análise dos principais minerais é feita através do pó total da amostra, onde a mesma é seca (estufa 40°C/24h (vide figura 30), moída em gral de ágata, figura 35, e levada para análise de difração de raios x no Laboratório de Difractometria do Instituto de Geociências da UFRGS.

Figura 35 – gral e pistilo de ágata



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Os argilominerais são analisados em lâmina orientada. Para a confecção da lâmina, aproximadamente 15 g da amostra são imersas em água destilada com recipiente fechado e colocada em orbitador por cerca de 24h para desagregação. Depois de desagregada, é deixada inerte por cerca de 24h para decantação da porção maior que 4 μm , sendo este, o tamanho de partícula de interesse para confecção da lâmina orientada. Estas partículas são retiradas por pipetagem, colocadas em lâminas de vidro e secas naturalmente por cerca de 48h.

A lâmina devidamente confeccionada é levada para análise no Laboratório de Difractometria do Instituto de Geociências da UFRGS onde se realiza a difração da mesma. Em seguida a lâmina contendo as porções dos argilominerais é glicolada e levada novamente à difração, e finalmente calcinada e mais uma vez submetida à difração.

As análises foram realizadas no Laboratório de Difractometria de Raios X do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CGPq) do Instituto de Geociências da UFRGS. O equipamento utilizado para as análises foi um difratômetro, modelo Difraktometer Siemens Bruker aXS D5000, figura 36, equipado com ânodo de cobre, filtro de

níquel, fendas de 10, 40 mA de corrente e 30 KV de tensão do feixe (Forni, 2010, p. 32).

Figura 36 – Difratorômetro de raios X Simens Bruker



Fonte: Forni (2010)

3.4.3. ANÁLISE QUÍMICA DA ÁGUA

Além de estudarmos as características físicas locais com o intuito de conhecer o potencial hídrico do aquífero fraturado, outra importante informação a levantar é a análise química da água local para além da quantidade, estimarmos a qualidade da água a ser aproveitada. Foi proposto para o presente trabalho as medições dos valores de pH, condutividade, sólidos totais, cátions (Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn) e ânions (HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, F) das cinco amostras de água coletadas em trabalho de campo.

3.4.3.1. pH

É no controle de qualidade da água e das suas soluções que o conceito de pH tem uma das suas mais relevantes aplicações, em virtude da importância da água na alimentação e na saúde dos humanos e animais, no ambiente, em diversas indústrias químicas, biotecnológicas e farmacêuticas, na agricultura, piscicultura e indústrias relacionadas, pois, em todos, a água é essencial para os processos químicos ou biológicos que neles têm lugar. (Morais, p. 01).

O pH, que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução líquida, é determinado usando um pHmetro, figura 37, que consiste em um eletrodo acoplado a um potenciômetro. O medidor de pH é um milivoltímetro com uma escala que converte o valor de potencial do eletrodo em unidades de pH. Este tipo de eletrodo é conhecido como eletrodo de vidro, que na verdade, é um eletrodo do tipo "íon seletivo". (Harris, 2005, p. 312).

Figura 37 – phmetro de bancada



3.4.3.2. CONDUTIVIDADE E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

A condutividade é uma medida da capacidade de conduzir corrente elétrica. A unidade usada é o MHO (inverso de OHM, unidade de resistência). No Sistema Internacional de Unidades, adotado pelo Brasil, a unidade de condutância é siemens, abreviando-se S (maiúsculo). Para as águas subterrâneas o correto seria nos referirmos a microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Existem vários fatores que influenciam a condutividade de uma água, entre os quais se destacam o tipo de íons presentes na água e a concentração dos mesmos, a força iônica da água (medida existente no campo elétrico devido aos íons presentes na água) e temperatura. A medição da condutividade serve principalmente para verificar a pureza de uma água destilada ou deionizada, verificar variações nas concentrações das águas minerais e calcular o teor em substâncias iônicas dissolvidas.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) podem ser definidos como a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. A medida de Condutividade elétrica, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, fornece uma boa estimativa do STD de uma água subterrânea. Segundo o padrão de potabilidade da organização mundial de saúde (OMS), o limite máximo permissível de STD na água é de 1000 mg/L. (Martins & Alves, 2008, p. 01).

Tanto a medida de condutividade quanto a de sólidos totais dissolvidos foram feitas através de condutímetro portátil, figura 38.

Figura 38 – Condutivímetro portátil.



Fonte: <http://www.ingamax.com.br/images/imagens/Farmacia/>

3.4.3.3. CÁTIONS (Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn)

Para a análise da concentração de cátions presente nas amostras de água coletadas, utilizou-se o método da Espectrometria de Absorção Atômica (AAS).

Este método é usado para determinação de elementos metálicos menores e traços em materiais geológicos. A técnica é de custo baixo de compra e manutenção do equipamento, operação simples, permite determinar mais de 50 elementos, tem alta sensibilidade para muitos elementos, poucas interferências espectrais e de matriz, boa precisão e reprodutibilidade. As desvantagens da AAS são a necessidade de solubilizar as amostras com ataque ácido ou fusão alcalina e de adequar a concentração da amostra à faixa de linearidade das curvas de calibração, o que eventualmente pode significar a confecção de várias diluições subsequentes para determinar elementos de diferentes faixas de concentração.

A Espectrometria de Absorção Atômica é baseada em duas leis fundamentais:

· a lei de Kirchhoff, que postula que átomos livres podem absorver a radiação eletromagnética de suas linhas de emissão ressonantes;
a lei de Beer-Lambert, que afirma que a absorção da radiação ressonante ocorre em maior ou menor grau, dependendo da concentração de átomos absorventes.

$$I = I_0 \exp(-k x c) \quad (1)$$

I é a intensidade do feixe no detector,
 I_0 é a intensidade do feixe antes da chama,
 k é o coeficiente de absorção do analito,
 x é comprimento do caminho óptico na chama e
 c é a concentração do analito na solução de amostra.

Quando não existe o analito na chama, c na equação (1) passa a ser zero e a intensidade I_0 da lâmpada de cátodo pode ser determinada.

Tomando o logaritmo natural da razão entre I_0 e I , obtém-se a absorvância A , que é diretamente proporcional à concentração.

$$A = \ln(I_0 / I) = k x c \quad (2)$$

O coeficiente de absorção k é determinado através da medida de padrões que contém concentrações conhecidas do analito. É estabelecida uma curva de calibração e os valores de concentração nas amostras desconhecidas são obtidos interpolando os valores de suas absorvâncias na curva de calibração, permitindo a quantificação. Por causa da variação dos parâmetros da chama, calibrações frequentes são intercaladas no processo de análise.

A sensibilidade é definida como a concentração que corresponde a uma redução de 1% na intensidade I_0 do feixe. Ajustes na regulagem do monocromador, fendas, composição e altura da chama devem ser realizados de tal forma a maximizar o sinal de absorbância dos padrões.

Para medir o fenômeno de absorção, a instrumentação necessária consiste de três partes básicas: uma fonte de radiação característica, uma região de absorção de amostra e um detector.

Fonte de Excitação

Como fonte de excitação de alta intensidade e grande especificidade no comprimento de onda normalmente é utilizada uma lâmpada de catodo oco. A lâmpada de catodo oco consiste em um tubo de vidro lacrado preenchido com pequena quantidade de gás neônio ou argônio. No interior do tubo existe um cilindro oco (catodo), confeccionado com o elemento a ser analisado, e um pino encurvado sobre o cilindro (anodo). Os átomos do gás de preenchimento são ionizados pelo potencial elétrico aplicado entre anodo e catodo e os íons resultantes bombardeiam o catodo, arrancando átomos do metal (por sputtering) e formando um vapor frio do elemento no interior do cilindro, que, excitado pelos íons do gás nobre, emite o espectro característico do elemento. O espectro emitido pela lâmpada consiste de várias linhas do elemento e também do gás nobre, de modo que é necessário escolher uma linha para análise através de um monocromador de baixa resolução. Na figura ao lado pode ser visto o esquema da lâmpada de catodo oco.

Atomizador

O atomizador de um AAS deve gerar átomos no estado fundamental no caminho ótico do equipamento. Consiste de um nebulizador e de um queimador com chama. O nebulizador aspira a amostra solubilizada através de um capilar. No fim do capilar ocorre um rompimento do fluxo de solução e a amostra fica pulverizada como aerosol no interior da câmara de nebulização. Dentro da câmara existe um bloqueio (glass bead ou spoiler) para gotículas de tamanho excessivo, que serão descartadas via um dreno.

O queimador consiste de uma fenda de largura e comprimento definidos, específico para cada tipo de chama a ser utilizado, conforme recomendação do fornecedor. A intenção é a de sustentar uma chama laminar e estável. As combinações de oxidante/combustível mais usadas em chamas de AAS são de ar/acetileno e óxido nitroso/acetileno, atingindo temperaturas de 2400 e 2900 K. O objetivo é de atingir temperaturas suficientemente altas para quebrar as moléculas da amostra e impedir a formação de compostos secundários. As gotas pequenas são arrastadas pelos gases que alimentam a chama, o solvente evapora e formam-se cloretos, esses quebram, os cátions são neutralizados e posteriormente formam-se óxidos. O caminho ótico deve atravessar a chama na altura em que está a maior concentração de átomos no estado fundamental.

Detetor /Monocromador: sistema ótico

A escolha da linha espectral de análise pode ser feita antes ou depois da chama, normalmente é feita depois, em associação com o sistema de detecção. O monocromador pode ser de grade ou de prisma, e o controle de resolução é feito pela largura das fendas.

Pode-se utilizar fendas largas quando a linha espectral não tem linhas vizinhas próximas – nesse caso o aumento de I_0 melhora os limites de detecção. Quando existem linhas do gás nobre na vizinhança da linha analítica é necessário utilizar fendas estreitas, que reduzem a razão sinal/ruído. A intensidade de luz que atravessa a chama sem amostra (I_0) e a intensidade da luz que atravessa a chama contendo os átomos da amostra ou dos padrões (I) são detectadas por uma célula fotomultiplicadora, que produz um sinal elétrico proporcional à intensidade luminosa recebida. A absorvância é calculada a partir de I_0 e I . (Hinrichs, pp.01-04).

As análises para estes parâmetros foram realizadas no laboratório do Instituto de Química da UFRGS.

3.4.3.4. ÂNIONS (HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, F)

A medição dos ânions das amostras coletadas foi feita através da técnica da cromatografia iônica.

A cromatografia iônica encontra-se no grupo em que a fase estacionária é um sólido e a fase móvel é um líquido, sendo uma subdivisão do grupo conhecido como cromatografia líquida.

É uma técnica bastante difundida, tendo em vista a sua aplicabilidade em amostras que contenham íons, possuindo boa reprodutibilidade e confiabilidade. Nesta técnica cromatográfica, a fase estacionária possui trocadores iônicos (catiônicos ou aniônicos) formados a partir de polímeros de estireno divinil-benzeno ou de sílicas funcionalizadas. (Klein, 2010, p. 20). Na cromatografia iônica, o mecanismo que rege o processo de separação, é o da interação

eletrostática entre os íons presentes na amostra e os contra-íons da fase estacionária que possui grupos com carga. Os sais de amônio quaternário e aminas são utilizados como trocadores de ânions. O processo de troca iônica ocorre na condição de equilíbrio, e a eficiência da separação destes íons depende fortemente da interação existente entre eles e os grupamentos funcionais da fase estacionária.

Em geral, o trocador de íons é um polímero complexo cuja carga elétrica é exatamente neutralizada pelas cargas dos contra-íons. Estes contra íons são cátions em um trocador de cátions e ânions em um trocador de ânions. Os trocadores de ânions são de caráter básico, devido à presença de bases fracas, como o grupamento amino. Um dos trocadores de ânions mais utilizados é preparado pela co-polimerização de estireno com um pouco de divinil-benzeno, seguida por cloro-metilação e reação com uma base como a trimetilamina.

De uma maneira geral, a capacidade de um trocador é uma medida da quantidade de troca de íons que pode ocorrer entre a matriz e os íons presentes na fase móvel. Em resumo, a capacidade ideal é a quantidade de grupos carregados, ou potencialmente carregados, que podem ser trocados por grama de peso seco do trocador.

Esta medida é expressa em meq/g ou meq/100 mL de suspensão de resina, sendo determinada por titulação. A capacidade disponível, como o nome já indica, é a capacidade real do trocador, ou seja, é a capacidade ideal calculada considerando as condições de operação da coluna cromatográfica, entre as quais a força iônica, pH e a temperatura que o efluente está sendo introduzido. O conhecimento

da seletividade de determinado trocador iônico é muito importante no momento de sua escolha, pois, alguns trocadores podem ser seletivos para determinados íons, mas, para outros, podem não ser, comprometendo a eficiência da técnica. Embora este fator dependa muito das condições de operação da coluna, pode-se destacar: a seletividade de um trocador aumenta com o incremento do grau das ligações cruzadas da matriz; íons com carga elevada são ligados mais fortemente ao trocador que íons de carga baixa, nas mesmas concentrações; íons com a mesma carga, porém com diferentes tamanhos em solução, tem grau de afinidade diferentes. Este efeito se relaciona melhor com o poder de polarização do íon e seu grau de hidratação, sendo que a afinidade diminui com o aumento do raio do íon hidratado. (Klein, 2010, pp. 22-25).

O procedimento foi todo realizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS.

4. RESULTADOS

Após a apresentação das principais características regionais e os métodos utilizados para a realização do trabalho, os resultados adquiridos serão apresentados nos itens que seguem, enfatizando as características obtidas nas áreas da geologia e da hidrogeologia.

4.1. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização geológica da área foi feita inicialmente a partir de revisão bibliográfica e fotointerpretação. Nesta fase foram traçados os principais contatos

litológicos utilizando especialmente critérios geomorfológicos, bem como, os lineamentos observáveis.

Na etapa de campo os lineamentos e as unidades litológicas observadas no estudo preliminar aerofotogeológico foram checados presencialmente, resultando no mapa geológico da figura 39. Do ponto de vista da geologia regional, a área esta inserida principalmente no domínio do Escudo Cristalino Sul Rio-Grandense, mais precisamente na região conhecida como Batólito Pelotas, ainda com presença de rochas sedimentares remanescentes da Bacia do Paraná. Nas unidades 1 e 2 individualizadas na fotointerpretação, foram observadas rochas granitóides pertencentes à Suíte Granítica Cordilheira, tratando-se de granitóides ricos em muscovita, biotita, k-feldspato e quartzo. O principal fator que distingue uma unidade da outra é a milonitização sofrida pela unidade 1, alterando a estrutura principal da rocha tornando-a foliada, apresentando a unidade 2, estrutura maciça e textura inequigranular grossa. Segue breve descrição de cada unidade mapeada.

O Granito Cordilheira milonitizado apresenta litologia sob a forma de lajeados onde se observa estiramento e orientação dos minerais por metamorfismo dinâmico. Trata-se de um Biotita Muscovita Granito milonitizado, com bandamentos claros e escuros. Estes aspectos podem ser observados na figura 16. Esta unidade é cortada por diques de riolito.

O Granito cordilheira com estrutura maciça aflora em campos de matacões, apresenta estrutura maciça e textura inequigranular grossa com fenocristais de feldspato, quartzo e presença de muscovita e biotita, figura 18.

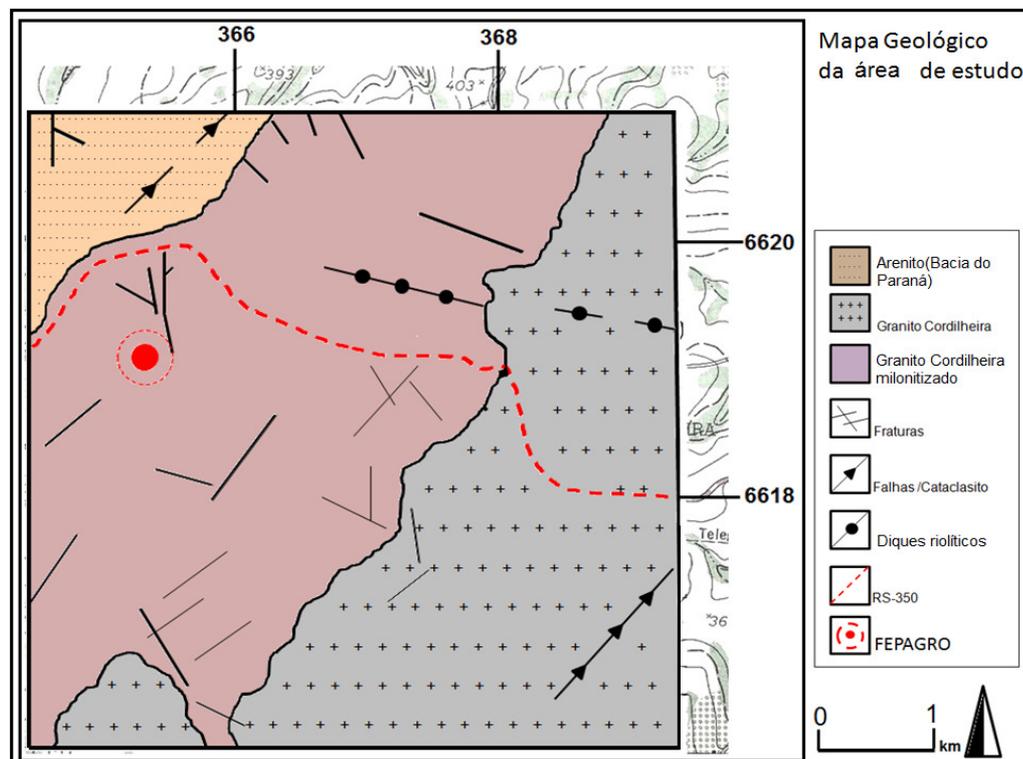
A composição da Suíte Granítica Cordilheira varia de sienogranítica a granodiorítica, com moscovita, biotita, turmalina, granada, monazita, zircão e minerais opacos. Os corpos da suíte afloram extensamente desde a região de São Jerônimo-Quitéria até Pinheiro Machado. São granitos brancos a cinzentos, com pontuações escuras de biotita. A estrutura é foliada, marcada nas zonas de baixa de deformação pela orientação de moscovita primária e biotita. A foliação possui duas orientações: uma subhorizontal, magmática, com moscovita orientada, e outra subvertical, tectônica, sobretudo em regiões de alta

deformação, nas bordas dos corpos, sendo associada às zonas de Cisalhamento dúcteis. Os milonitos e protomilonitos contêm porfiroclastos assimétricos de feldspato potássico, plagioclásio e moscovita, (Philipp & Machado, 2001, p.XX)

confirmando tanto as observações do trabalho preliminar quanto do observado em campo.

Na unidade 3 individualizada em trabalho preliminar observou-se a presença de rocha sedimentar sob a forma de pequenos matacões remanescente da Bacia do Paraná que limita, ao norte, o Batólito Pelotas. Trata-se de um arenito médio conglomerático avermelhado com a presença de grânulos de quartzo arredondados, pequenos seixos e alto grau de cimentação. Pelas suas características litológicas foi correlacionado com o Grupo Tubarão, formação Itararé ou Rio Bonito, figura 19.

Figura 39 – Mapa geológico da área de estudo gerado em função do trabalho de sensoriamento remoto e do trabalho de campo.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

4.2. HIDROGEOLOGIA

Realizados os trabalhos preliminares e a etapa de campo, foram gerados os resultados da etapa de estudos sobre a hidrogeologia local. Estes resultados são apresentados nos itens que seguem.

4.2.1. INVENTÁRIO DE POÇOS

Como parte da atividade de campo em hidrogeologia foi efetuado um inventário de poços e vertentes existentes na cabeceira da sub-bacia do Arroio dos Ladrões. Seguindo a proposta do trabalho, foi focado o levantamento do entorno da área da Estação Experimental da FEPAGRO.

O procedimento consistiu na procura e localização de obras de captação, entrevista com proprietários em busca de dados hidrogeológicos e coleta de água para a análise química das águas de vertentes, poços explorando o aquífero freático e poços explorando o aquífero fraturado profundo, (ver metodologia).

Os pontos de água inventariados foram locados na carta topográfica e os dados obtidos nas entrevistas foram organizados no quadro I. O quadro II apresenta dados retirados do site do CPRM-SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas).

O inventário de poços foi fundamental para avaliar o potencial hidrogeológico da área de estudo em geral e em particular da Estação Experimental da FEPAGRO. O cruzamento dos dados hidrogeológicos levantados com a geologia da área (mapa geológico), apoiado em modelo generalizado obtido na bibliografia, foi decisivo para estabelecer os pontos de captação para o abastecimento da Estação Experimental da FEPAGRO, com água subterrânea de qualidade e em quantidade suficiente para as suas atividades atuais e expansão futura (Forni, 2010, modificado por Gonçalves, 2011).

Quadro I – Inventário de poços e vertentes observados em TRABALHO DE CAMPO

Ponto	Número	Coordenada	Proprietário	Aquífero	Diâmetro (pol.)	Prof.(m)	Vazão (L/h)	Elevação	Análise Química
1	AAFP-01	364943	FEPAGRO	fraturado	30	-	-	gravidade	sim
		6619300							
2	AAFP-02	365502	FEPAGRO	freático	-	-	-	gravidade	sim
		6619867							
3	AAFP-03	366165	Acelino	fraturado	-	-	-	bomba	sim
		6619570							
4	AAFP-04	367776	Geni	fraturado	2	38	1.300	compressor	sim
		6619082							
5	AAFP-05	365548	FEPAGRO	freático	-	-	-	gravidade	sim
		6619344							

Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Quadro II – Inventário de poços registrados pelo SIAGAS

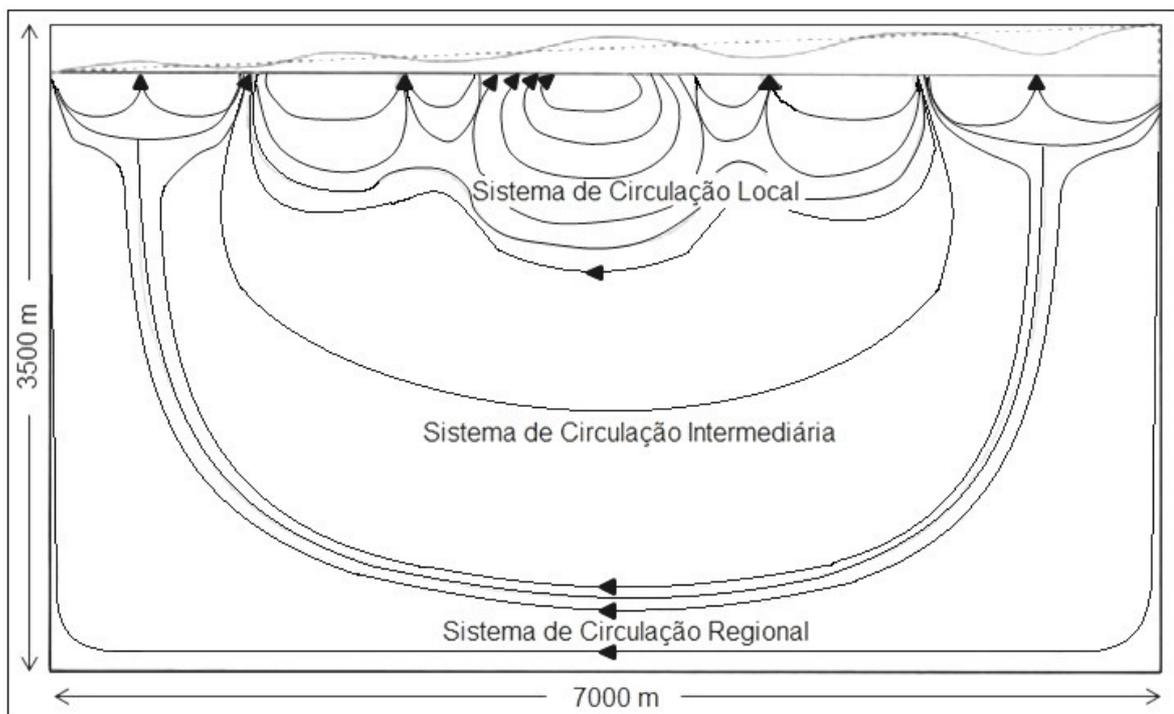
Ponto	Número	Coordenada	Proprietário	Aquífero	Diâmetro (pol.)	Prof.(m)	Vazão (L/h)	Elevação	Análise Química
1	-	360900	SUDESUL	freático	12 1/4	27	-	-	não
		6579500							
2	-	357035	Assentamen to São Pedro	-	-	84	-	-	sim
		6624382							
3	-	342756	INCRA	-	4	67,2	-	-	sim
		6612694							
4	-	360580	INCRA	fraturado	6	63,2	-	-	sim
		6601327							
5	-	357109	INCRA	fraturado	6	84	-	-	não
		6624297							

Fonte: CPRM-SIAGAS, modificado por Gonçalves (2011)

4.2.2. O SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Adotando o modelo de circulação proposto por Harvey (2007), estabelecido para uma profundidade de até 3,5 km e deslocamento horizontal e até 7 km, as águas subterrâneas estudadas através de poços com profundidade de até 140 m enquadram-se no sistema de circulação local, figura 40. As fraturas que abastecem estes poços podem estar conectadas ao sistema de circulação intermediária. (Forni, 2010, p. 61).

Figura 40 – Modelo ideal de circulação da água subterrânea.

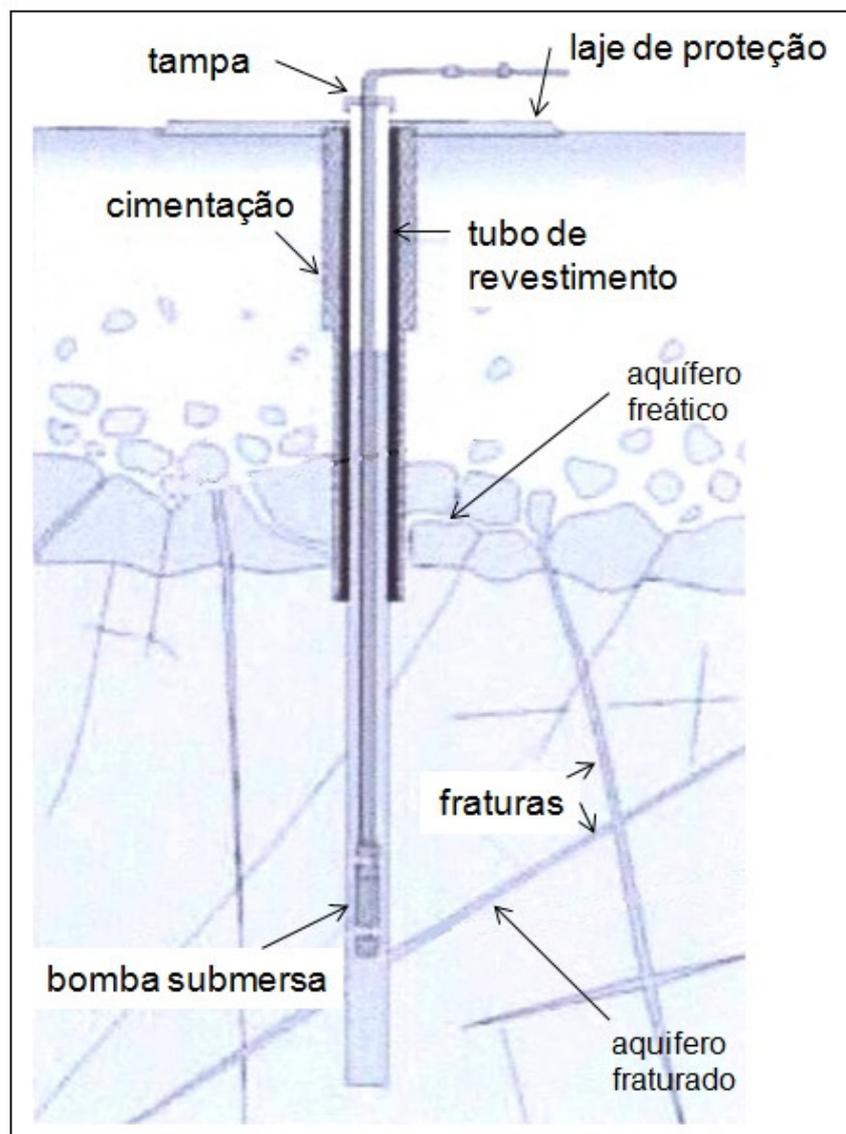


Fonte: Harvey (2005)

Nesta perspectiva, as águas subterrâneas da sub-bacia do Arroio dos Ladrões provavelmente apresentam circulação relativamente rápida e pouco tempo de residência no meio fraturado.

A figura 41 mostra esquematicamente a situação de um poço perfurado no meio fraturado.

Figura 41 – Ilustração esquemática dos dois aquíferos estudados nas cabeceiras do Arroio dos Ladrões.

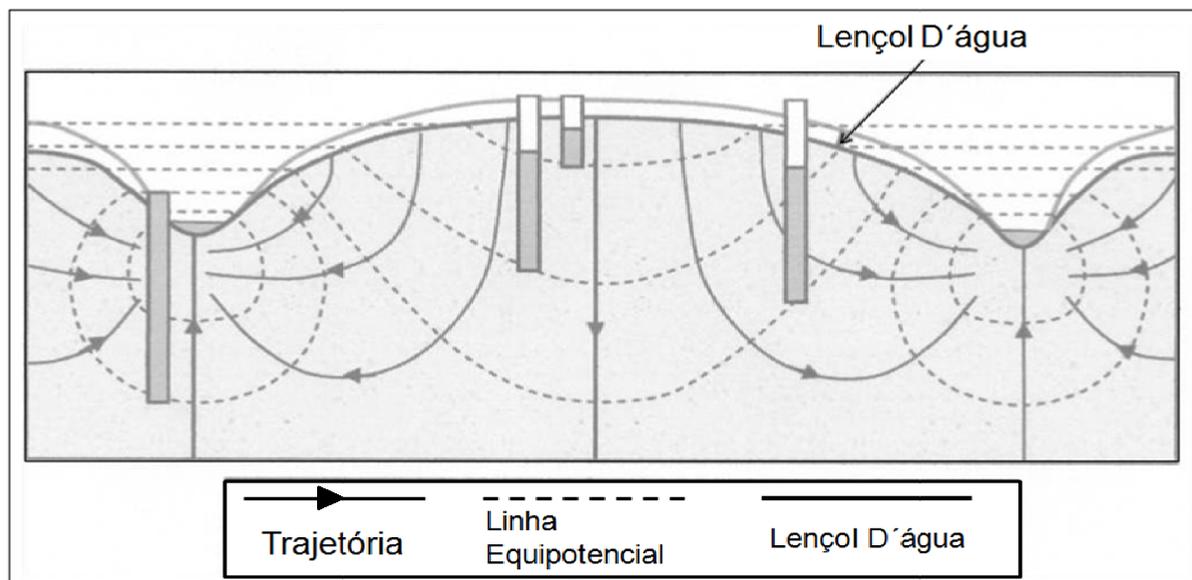


Fonte: Harvey (2005)

Observando os quadros I e II, inventário de vertentes e poços, constata-se que na sub-bacia objeto do estudo, além do aproveitamento da água superficial, a água subterrânea é explotada em um nível de profundidade denominado Aquífero Freático e Aquífero Fraturado em uma faixa de 1 a 70 m aproximadamente.

Pode-se também relacionar os dois sistemas aquíferos com o modelo teórico que ilustra nível freático, linhas equipotenciais e a trajetória do fluxo para os poços no meio freático e no meio fraturado, neste nível apenas ilustrativo, pois o fluxo é turbulento, figura 42.

Figura 42 – Aquíferos estudados e fluxo ideal da água subterrânea. Ilustrativo.

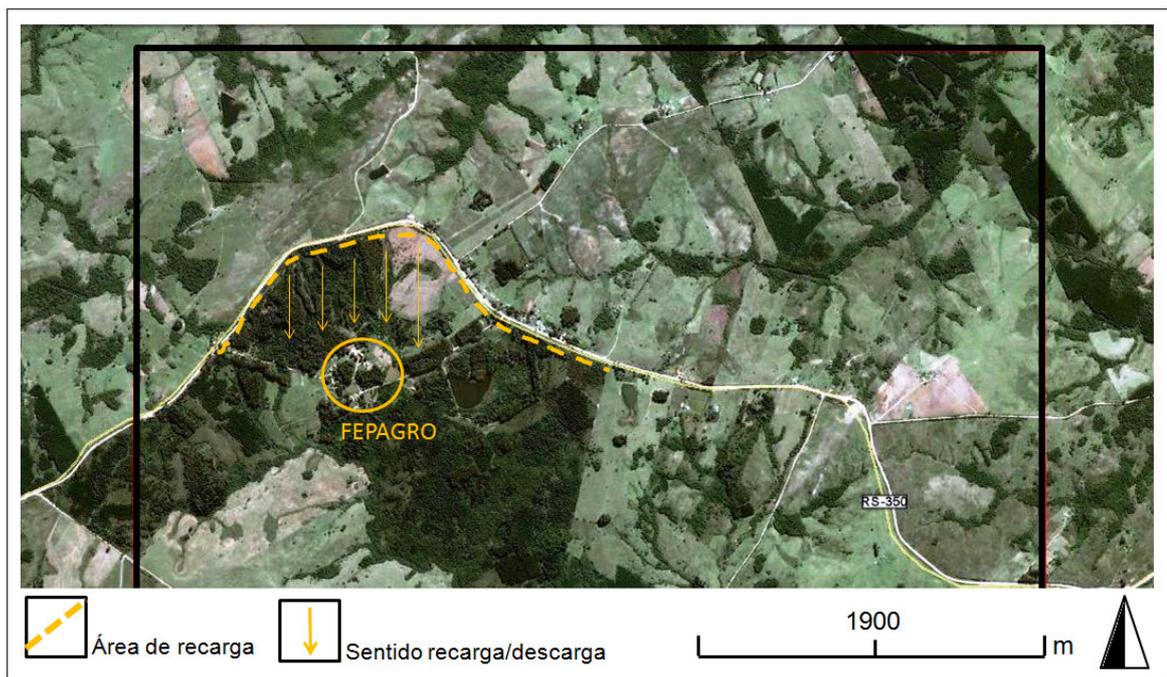


Fonte: Harvey (2005)

4.2.3. AS ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA

A área principal de recarga ocorre nas cabeceiras da sub-bacia ao norte e a descarga, não muito longe, ao sul, nas dependências da estação experimental. As condições de relevo maciço aplainado alteado, a presença do regolito, produto de alteração do Granito Cordilheira, a precipitação média anual de 1500 mm /ano e a relativa baixa taxa de evapotranspiração, em torno de 800 mm/ano, propiciam boas condições de recarga para os aquíferos freático e fraturado. A figura 43 ilustra as condições de recarga e descarga na área de estudo.

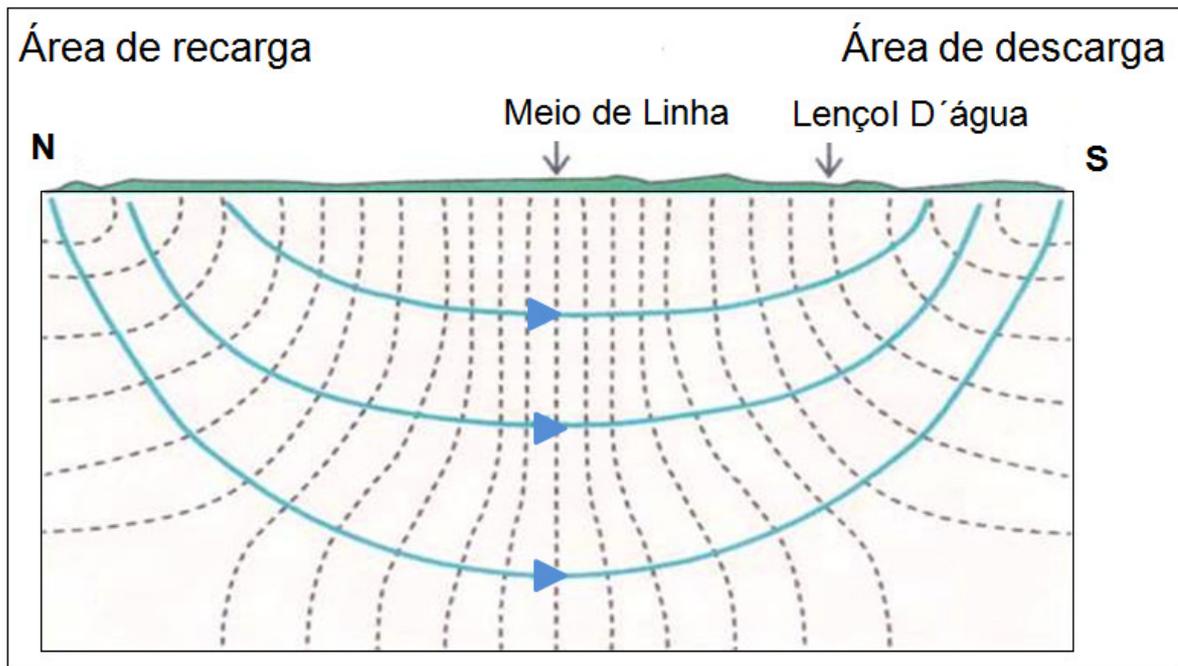
Figura 43 – Imagem de satélite mostrando o principal sentido recarga/descarga (N-S) das cabeceiras da Sub-bacia do Arroio dos Ladrões.



Fonte: Google Earth, modificado por Gonçalves (2011)

O modelo conceitual ideal da recarga/descarga que ilustra as condições da sub-bacia do Arroio dos Ladrões é ilustrado na figura 44.

Figura 44 – Modelo ideal da recarga, fluxo e descarga em situação análoga as cabeceiras da sub-bacia do Arroio dos Ladrões.



Fonte: Harvey (2005), modificado por Gonçalves (2011)

Em diversos setores da sub-bacia, principalmente nas cabeceiras, onde se concentraram os estudos, encaixados em fraturas com direção NW, ocorrem pontos de descarga local sob a forma de vertentes, no contato da parte basal do regolito com a rocha sã. Estas vertentes são captadas e aproveitadas para diversas finalidades, principalmente, como observadas em campo, para o abastecimento doméstico, constituindo-se em importante recurso hídrico para as comunidades rurais da região, figura 45.

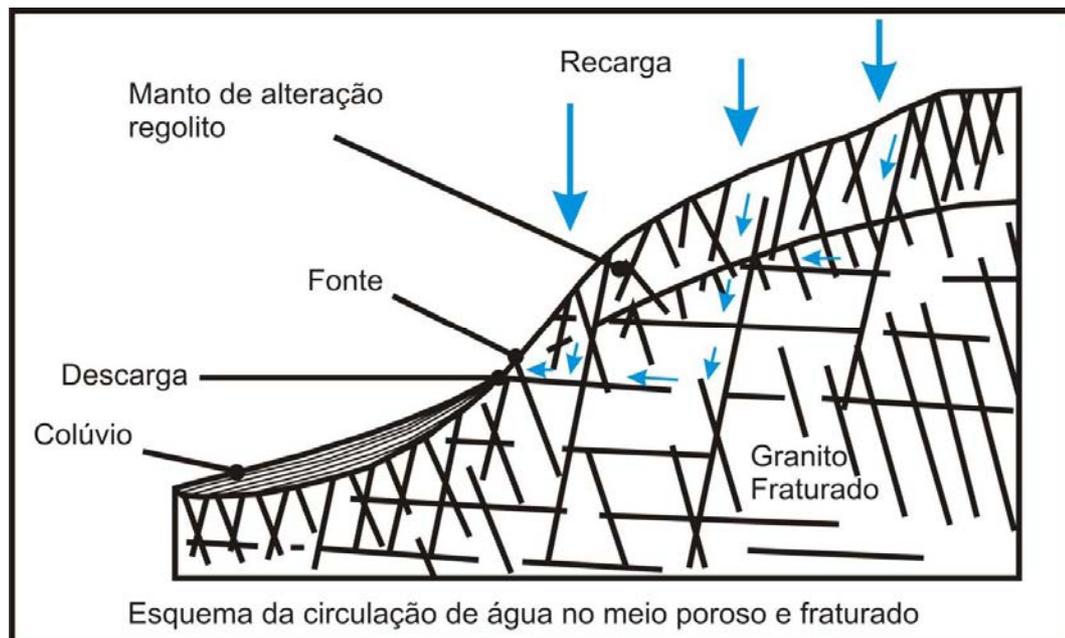
Figura 45 – Fotos de campo mostrando em "A" ponto de descarga (vertente) captada para abastecimento das casas da estação experimental e em "B" área de descarga de vertente próxima. Notar contaminação do aquífero por dejetos principalmente plásticos.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

A seguir apresenta-se corte esquemático da situação geológica geral que controla a ocorrência desses exutórios na área de estudo, figura 46.

Figura 46 – Corte esquemático que ilustra a ocorrência de recarga e descarga.



Fonte: Harvey (2005)

A recarga efetua-se pela infiltração e percolação da água proveniente de parte das precipitações atmosféricas, através do regolito, produto da alteração do Granito Cordilheira. A infiltração e percolação no regolito são favorecidas pelo relevo suave e cobertura vegetal. Foi feita amostragem do regolito em voçoroca, apresentando textura predominantemente arenosa, figura 47.

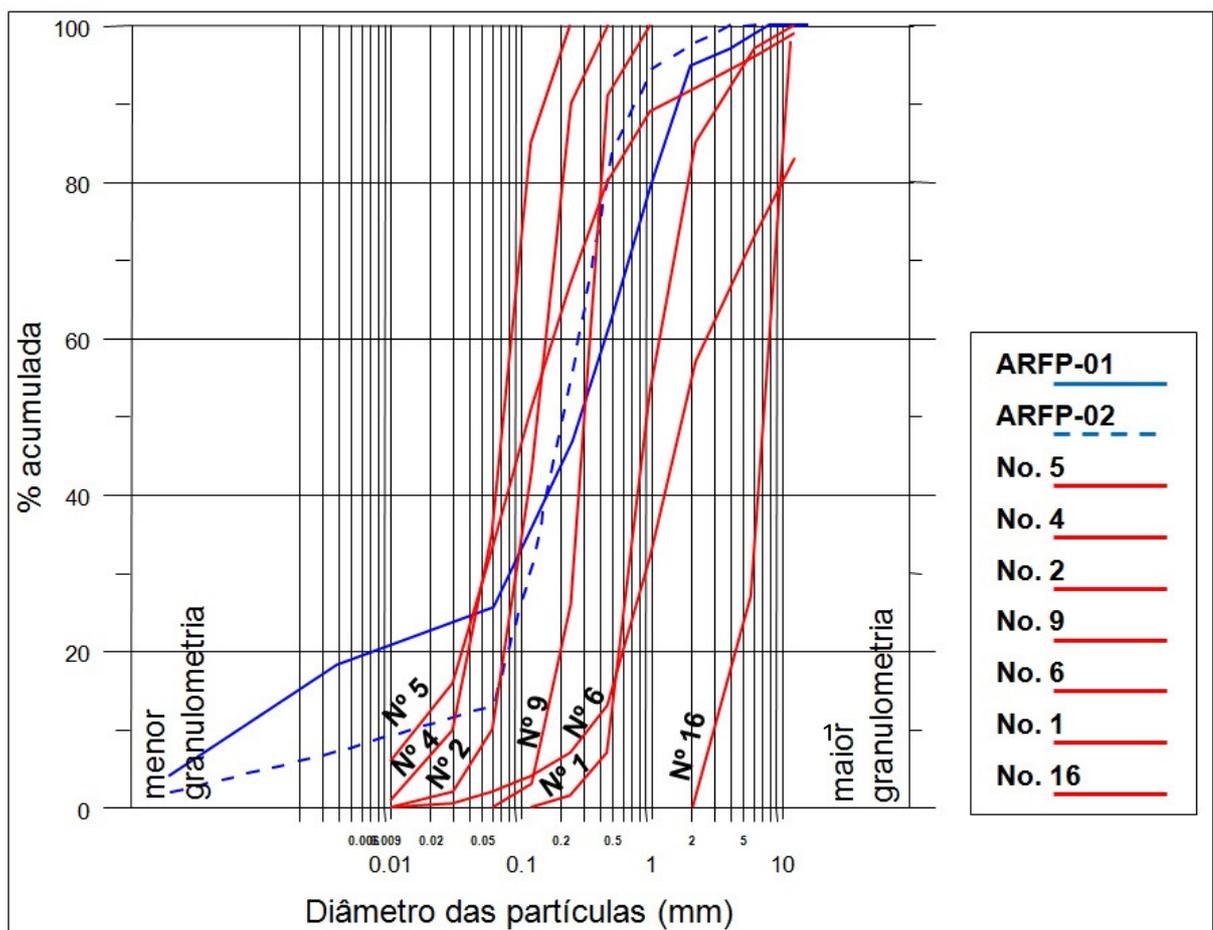
Figura 47 – coleta de regolito em voçoroca em área da estação experimental.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

As amostras foram submetidas à análise granulométrica e à difratometria de raios X, conforme o descrito na metodologia, com o objetivo de avaliar as características da área de recarga, do ponto de vista da porosidade, permeabilidade e condutividade hidráulica do regolito. Os dados da análise granulométrica da amostra ARFP-01 e ARFP-02 foram plotados em gráfico semi logarítmico resultando em curvas granulométricas azuis e curvas padrão em vermelho retiradas de Meinzer (1959), figura 48.

Figura 48 – Curvas de variações granulométricas dos horizontes do regolito em azul. Em vermelho, curvas padrão de diversas granulometrias para efeito comparativo, obtidas de Meinzer (1959).



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

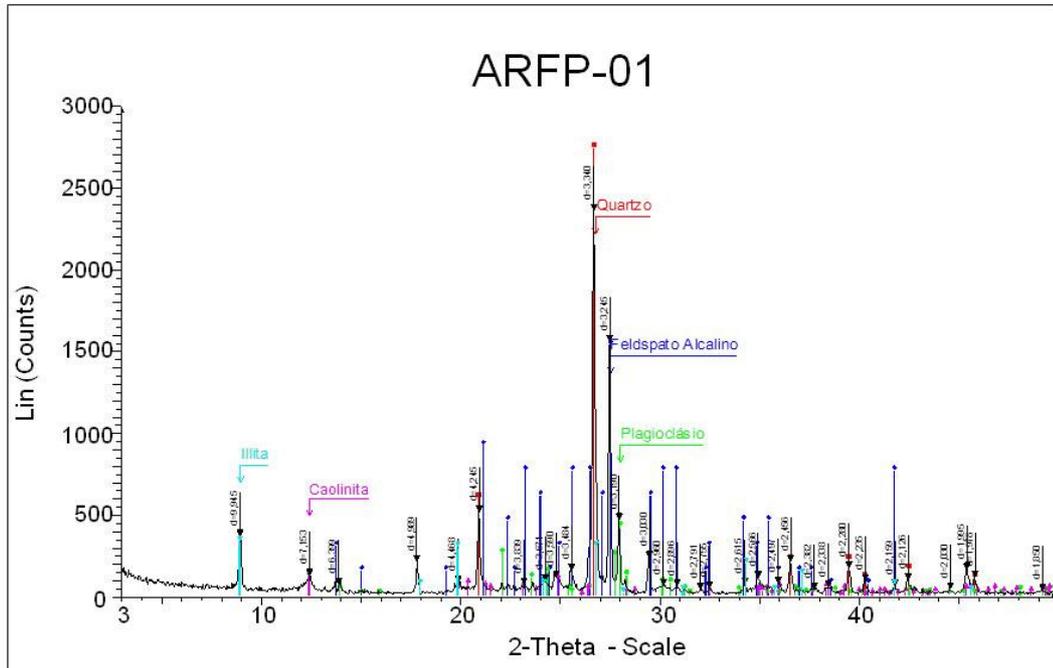
A forma das curvas granulométricas do material do regolito coletado (ARFP-01 e ARFP-02), produzido sobre o Granito Cordilheira milonitizado, se aproximam de uma areia bem classificada, condizentes com as curvas modelo de número 5 e número 2 respectivamente, com média de 75% de grãos tamanho areia acrescida de uma pequena quantidade de cascalho, principalmente na amostra ARFP-02, que também apresenta insignificante quantidade de finos.

A amostra mais bem classificada e com maior condutividade hidráulica é caracterizada por ARFP-02. Já a amostra ARFP-01 caracteriza-se pela presença de cascalhos e maiores teores de finos apresentando menor condutividade hidráulica. De modo geral estas condições propiciam boas possibilidades de recarga na área de estudo.

A fração fina das amostras ARFP-01 e ARFP-02 oriundas de perfis de solo característicos da região de descarga foram estudadas em detalhe através da difratometria de Raios-X, cujos resultados são apresentados nas figuras 49, 50, 51 e 52.

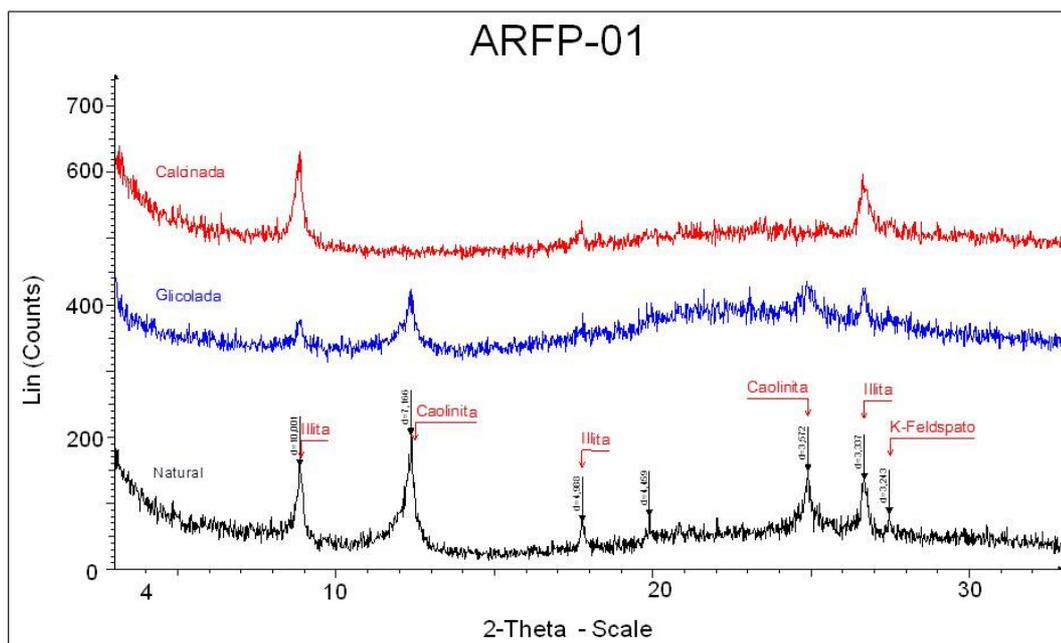
Na análise da amostra total, as duas amostras mostram picos significativos de quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e picos menores de ilita e caolinita. Já nas análises dos argilominerais realizados em lâminas orientadas (ver metodologia), as duas amostras também mostraram resultados semelhantes. As análises naturais, as glicoladas e as calcinadas mostraram picos de ilita e caolinita principalmente, caracterizando a ausência de argilominerais expansivos no regolito da área de recarga.

Figura 49 – Resultado da Difração de raios X da amostra total ARFP-01



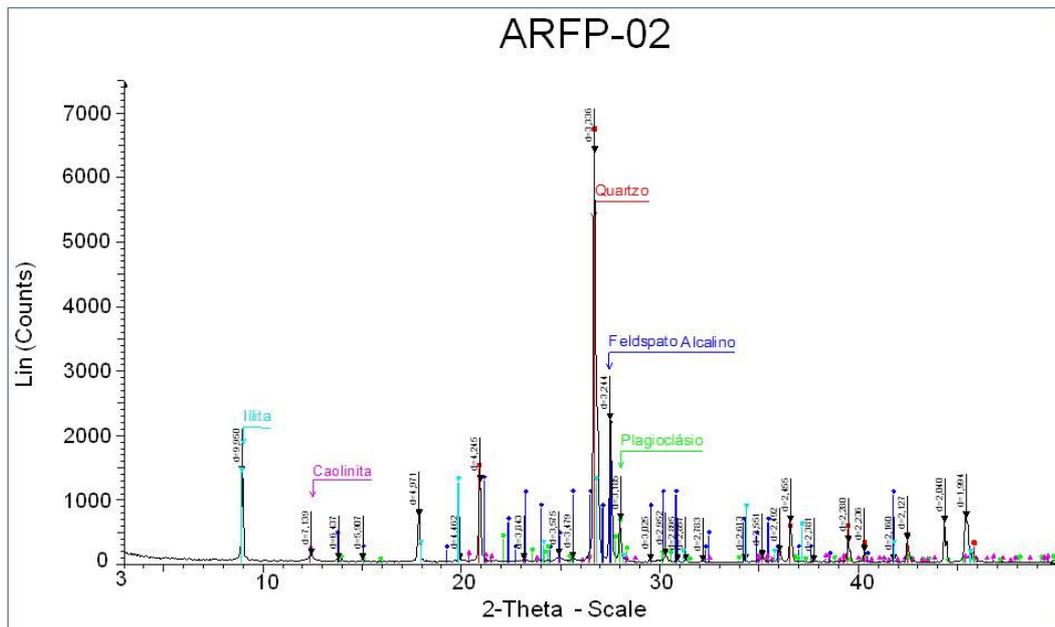
Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Figura 50 – Resultado da Difração de Raios X da lâmina orientada ARFP-01



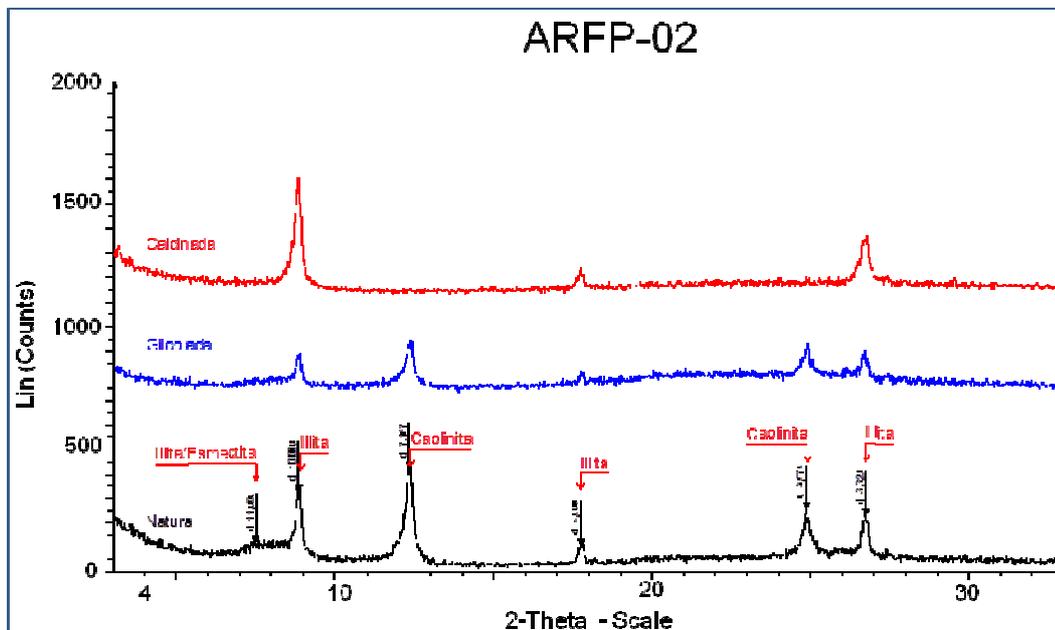
Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Figura 51 – Resultado da Difração de raios X da amostra total ARFP-02



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Figura 52 – Resultado da Difração de Raios X da lâmina orientada ARFP-02



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Os resultados, como dito anteriormente, estabelecem a ausência de argilominerais expansivos, favorecendo o processo de circulação da água ao longo do manto de alteração. Um aspecto negativo que os resultados combinados mostram, é que o tipo de circulação da água ao longo do perfil e o manto de alteração predominantemente arenoso, não inibem de forma significativa a ação de possíveis contaminantes, apresentando baixo poder de retenção dos mesmos.

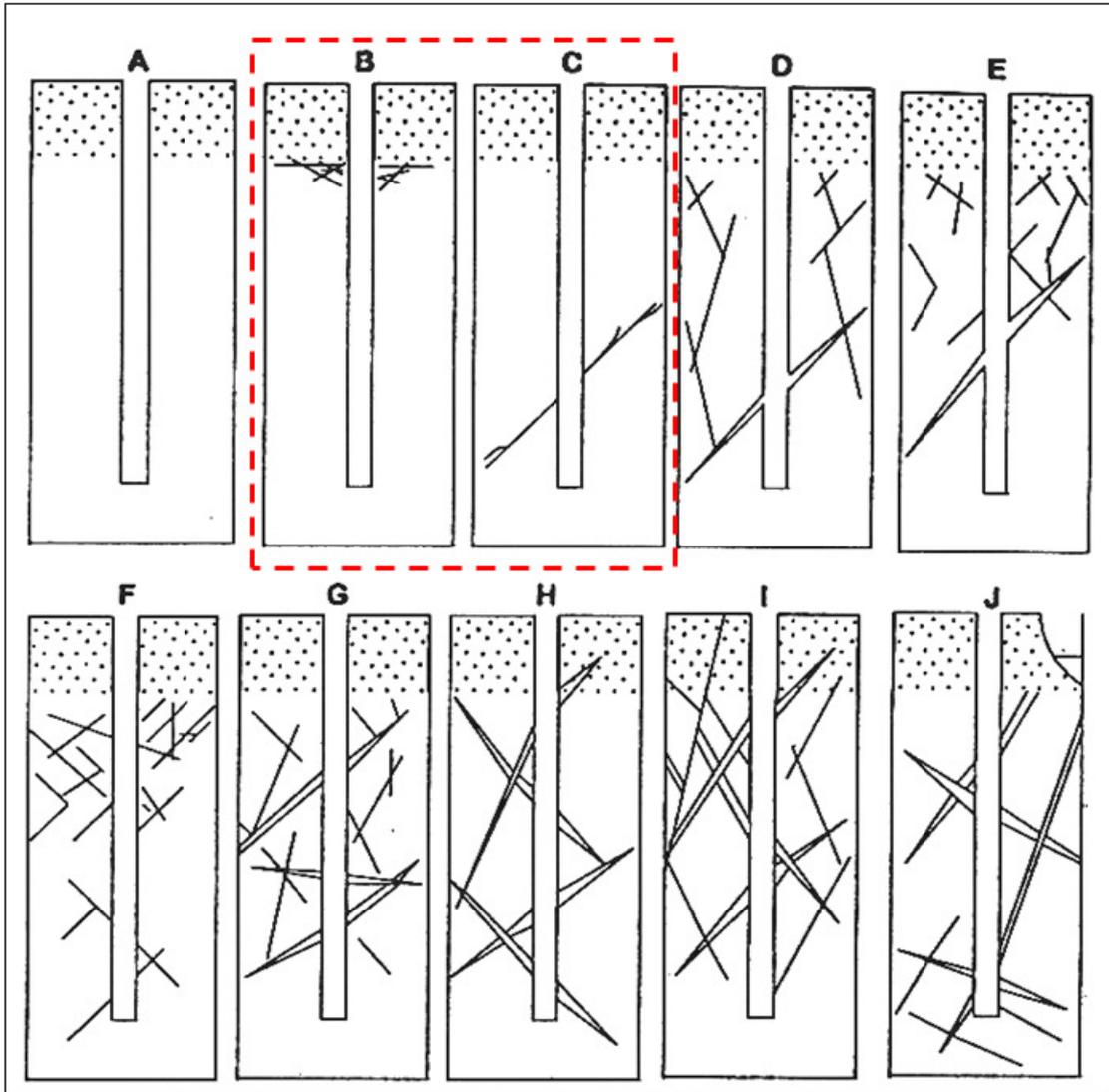
4.2.4. O AQUÍFERO FRATURADO SITUADO NAS CABECEIRAS DO ARROIO DOS LADROES: LOCAÇÃO DE PONTO DE CAPTAÇÃO NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL

No meio fraturado a porosidade é secundária, pois a água circula em aberturas irregulares, com fraturas interconectadas. Neste meio, o fluxo da água é turbulento e a heterogeneidade hidrogeológica do sistema aquífero é muito grande, se comparado com os meios porosos primários sedimentares. O tratamento do fluxo no meio fraturado não obedece às leis hidráulicas que determinam o fluxo laminar no meio poroso.

Para análise das condições hidrogeológicas do aquífero fraturado na área de estudo, foram levados em conta dados estruturais obtidos no mapeamento geológico que mostraram principalmente fraturas de pequeno porte. As estruturas geológicas fundamentais na área de estudo, para a análise do grau de fraturamento e produtividade de poços, são as fraturas de alívio concordantes com os diques observados nas análises preliminares e no trabalho de campo, vide mapa geológico, figura 39.

Dados hidrogeológicos, obtidos no inventário de poços e um modelo proposto por Feitosa (1997), o qual apresenta 10 situações hidrogeológicas teóricas possíveis para a exploração de água no meio fraturado, figura 53, foram utilizados para locação de poço tubular a ser perfurado na estação experimental, figura 54. As condições teóricas que mais se aproximam da situação que ocorre na área, correspondem aos padrões B no contato com o manto de alteração com a rocha fraturada e em fraturas de pequeno porte ilustrada pela condição C.

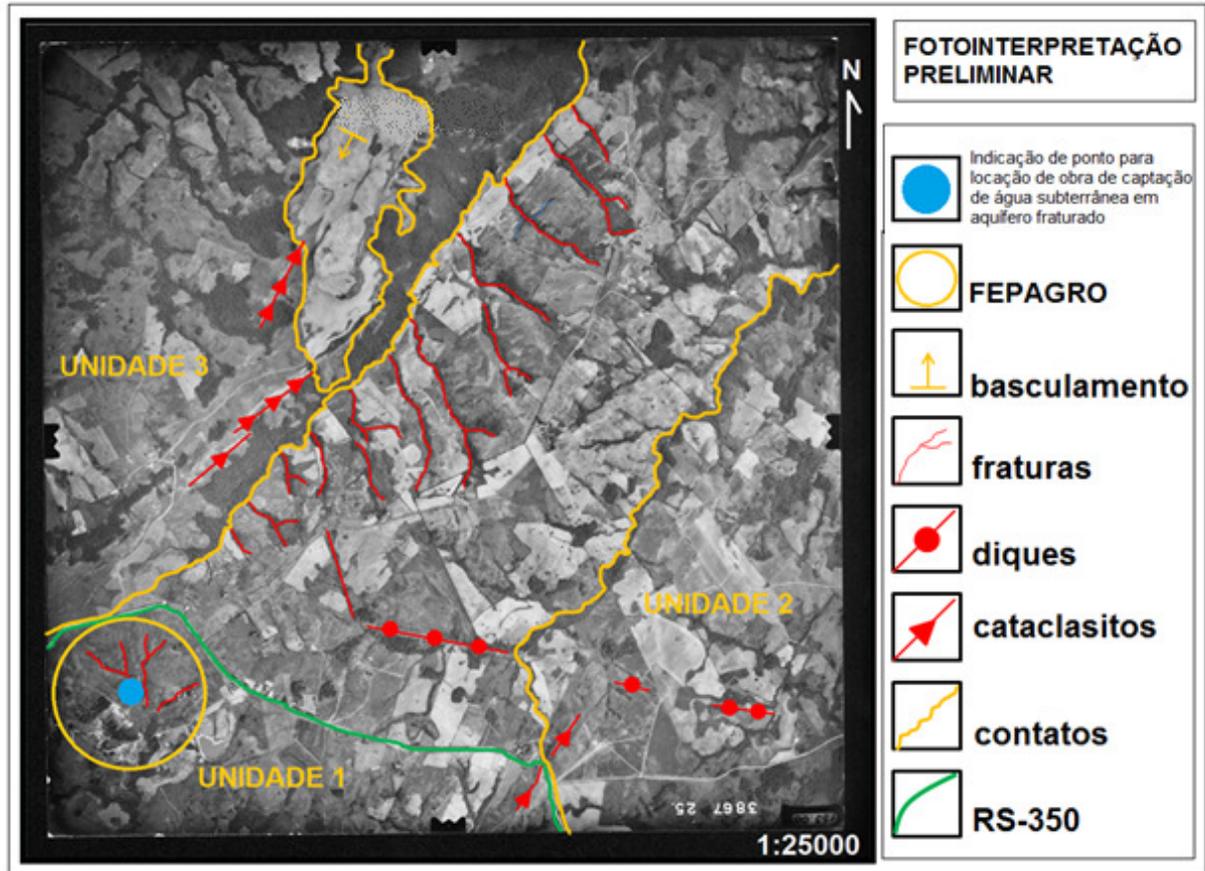
Figura 53 – Relação do grau de fraturamento com a exploração de água subterrânea no meio fraturado destacando a situação da estação experimental.



Fonte: Feitosa (1997), modificado por Gonçalves (2011)

Esta situação indica a possibilidade de pequenas vazões para poços a serem perfurados.

Figura 54 – Foto aérea mostrando ponto (365300N 6620700E) para locação de obra de captação de água subterrânea em fraturas de pequeno porte.



Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

De acordo com o exposto acima, na estação experimental foram detectadas fraturas de pequeno porte. Uma das fraturas tem direção NW aproximadamente paralela à direção do dique e foi tomada como referência para locação do poço. Além disso, levou-se em conta o cruzamento dessa fratura com duas outras de direção NE onde foi escolhido o local para a provável perfuração, figura 54.

4.2.5. HIDROQUÍMICA

No decorrer do trabalho de campo foram coletadas amostras de água para análise química, com a finalidade de classificar as águas superficiais e subterrâneas existentes na área de estudo, bem como, avaliar a sua qualidade. Todas as análises químicas foram realizadas em laboratórios da UFRGS, sendo possível a determinação do pH, condutividade, sólidos totais, cátions (Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn) e ânions (HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, F) sendo os resultados mostrados no quadro III.

Quadro III- Análises químicas das águas subterrâneas estudadas.

Amostra	pH	Fe	Mn	Na	K	HCO ₃
-	unidades de pH	mg L ⁻¹ *	mg L ⁻¹ **	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
AAFP-01	6,38	< 0,12	< 0,10	8,10 ± 0,12	2,41 ± 0,08	38,9424
AAFP-02	6,87	< 0,12	< 0,10	3,90 ± 0,08	1,54 ± 0,05	20,3366
AAFP-03	6,34	< 0,12	< 0,10	8,53 ± 0,09	5,90 ± 0,10	33,7501
AAFP-04	6,85	< 0,12	< 0,10	5,99 ± 0,04	2,59 ± 0,06	25,9616
AAFP-05	6,52	< 0,12	< 0,10	6,20 ± 0,12	1,82 ± 0,04	29,8558

Amostra	F-	Cl-	NO ₂ -	NO ₃ -	PO ₄ -3	SO ₄ -2	Sólidos Totais	Condutividade (14°C)
-	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	µm/cm
AAFP-01	0,13	3,31	< 0,01	1,19	0,18	0,56	29,6	75,1
AAFP-02	0,22	2,94	< 0,01	0,22	<0,01	10,76	12,52	38,5
AAFP-03	0,18	3,05	< 0,01	1,6	0,16	0,55	28,2	71,2
AAFP-04	0,14	3,26	< 0,01	2,21	0,1	0,4	24	61,4
AAFP-05	0,16	2,88	< 0,01	0,26	<0,01	19,76	15,95	41,1

* < limite de detecção = 0,12 mg L⁻¹

** < limite de detecção = 0,10 mg L⁻¹

Água subterrânea em aquífero fraturado.

OBS: Mg não foi possível efetuar a análise, o laboratório não possui lâmpada e a da geologia não funciona.

Fonte: Dados da Pesquisa (2011)

Nesta etapa foram analisadas águas de vertente representadas pelas amostras AAFP-01, AAFP-02 AAFP-03 E AAFP-05 e água subterrânea de aquífero fraturado AAFP-04.

A análise dos valores do quadro III não mostra grande disparidade em relação às águas superficiais e a subterrânea não apresentando um padrão definido para as mesmas.

Todas as amostras apresentaram pH próximo do neutro com tendência a ácidas variando seus valores de 6,34 a 6,87 unidades de pH. Outra característica que compete a todas as amostras são os baixos valores dos cátions Fe, Mn e do ânion NO₂ apresentando valores abaixo do limite de detecção dos respectivos aparelhos de medida. Outros parâmetros que apresentaram baixos valores para todas as amostras foram o de F⁻, PO₄-3 e SO₄-2.

As amostras mostraram valores moderados de Na e K, e chamam a atenção os valores de SO₄-2 para as amostras AAFP-02 e AAFP-05 de 10,76 e 19,76 ppm respectivamente. Os maiores valores registrados foram mesmo de HCO₃ para todas as amostras, caracterizando uma água bicarbonatada e de baixos teores de cátions, condutividade e sólidos totais devido ao baixo tempo de residência da água nos aquíferos.

Do ponto de vista de qualidade o baixo teor de nitratos, nitritos e cloretos, indica serem não contaminadas pela matéria orgânica do ciclo exógeno. Os demais parâmetros ficaram classificados dentro do limite de tolerância para águas potáveis no que se refere a elementos químicos.

5. CONCLUSÕES

Os objetivos do estudo foram atingidos, de acordo com a metodologia empregada, através do levantamento geológico e hidrogeológico da Sub-Bacia do Arroio dos Ladrões indicando a possibilidade de pontos para a exploração de água subterrânea em aquíferos fraturados, mesmo que para modestas vazões, ficando indicado também, pelo menos um ponto de captação de águas subterrâneas (365300N 6620700E), com amplas possibilidades de obter-las em quantidade e qualidade, para o abastecimento e desenvolvimento das pesquisas agropecuárias da Estação Experimental da FEPAGRO – Encruzilhada do Sul.

As análises visuais das imagens de sensoriamento remoto, fotografias aéreas e imagem orbital, permitiram a delimitação das unidades litológicas e o traçado das principais morfoestruturas lineares de médio e pequeno porte.

O trabalho de campo foi fundamental para verificar os principais contatos litológicos e qualificar o lineamento de médio porte na Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu e associadas a ela as fraturas de alívio de pequeno porte com direção NW, principalmente associadas a diques de riolito, importantes no ponto de vista hidrogeológico.

O inventário de poços e vertentes em campo, principalmente nas dependências da estação experimental, complementou as informações geológicas com dados hidrogeológicos que, mesmo escassas, foram importantes para avaliação do potencial hidrogeológico do meio fraturado na área da região.

A análise granulométrica do regolito, originado pela alteração e intemperismo do Granito Cordilheira, possibilitou a avaliação qualitativa da área de recarga associada a este regolito. Constatou-se que o regolito arenoso permite uma taxa elevada de infiltração da água de recarga possibilitando assim aporte para abastecimento do meio fraturado.

A análise difratométrica detectou a ampla predominância de illita e caolinita no regolito e ausência de esmectitas. A inexistência de esmectitas no manto de alteração é outro fator que favorece a recarga do meio fraturado.

Todos os pontos de coleta de água apresentaram resultados que indicam boa qualidade, bicarbonatadas, com baixo teor de sólidos dissolvidos, e isentas de

contaminação pelo ciclo exógeno da matéria orgânica, não sendo avaliado o conteúdo bacteriológico.

6. REFERÊNCIAS

- Albers, A.P.F., Melchhiades, F.G., Machado, R., Baldo, J.B. & Boschi, A.O. (2002). *Um Método Simples de Caracterização de Argilominerais por Difração de Raios X*. Cerâmica, 48:34-37.
- Borghetti, N. R. B.; Borghetti, J. R.; Da Rosa Filho, E. F. (2004). *O Aquífero Guarani*. www.oaquiferoguarani.com.br
- Britto, F. P., Barletta, R. & Mendonça, M. (2008). Regionalização Sazonal e Mensal da Precipitação Pluvial Máxima no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*. 99 p.
- Cunha, N. G., Silveira, R. C., Severo, C. S., Pinto, L. S., Mendes, R. G., Silva, J. B., Duarte, L. R. & Schumacher, R. L. (2005). Estudo de Solos do Município de Encruzilhada do Sul – RS. *Circular Técnica*, 45. 83 p.
- Feitosa, F.A.C. & Manoel, F.J. (1997). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*, CPRM, Fortaleza, 391p.
- Flores, R. P. (2008). *Modelagem Matemática e Conceitual do Fluxo da Porção Centro Oeste da Unidade Hidrográfica Águas Claras, Viamão-RS*. Projeto Temático em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 103 p.
- Forni, M. A. M. (2010). *Avaliação do Potencial Hidrogeológico da Bacia do Arroio Figueira - Estação Experimental da FEPAGRO–Viamão, RS*. Projeto Temático em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 80 p.
- Freitas, M.; Machado, J. (2005). *Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul*. CPRM. Serviço Geológico do Brasil, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, Porto Alegre. 62 p.
- Harris, D. C. (2005). *Medida do pH com um eletrodo de vidro. Análise Química Quantitativa*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, cap. 15-5, p. 312-319.
- Heath, R. C. (1982). Hidrologia de Água Subterrânea Básica. *United States Geological Survey Water Supply Paper 2220* 84 p.
- Hinrichs, R. Espectrometria por Absorção Atômica (AAS). *Apostila para a disciplina “Técnicas Analíticas”*. 7 p.
- Dias, A. (2004). A Análise Sedimentar e os Conhecimentos dos Sistemas Marinhos (versão preliminar). 27 p.

Kuinchtner, A. & Buriol, G. A. (2001). Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Exatas*, v.2, n.1: 171-182.

Meizer, O. E. (1959). The Occurrence of Ground Water in the United States. With discussion of Principles. 315 p.

Milani, E. J. (1997). *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. 2 v. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Milani, E. J., Melo, J.H.G., Souza, P.A., Fernandes, L.A. & França, A.B. (2007). Bacia do Paraná. *Bol Geoc Petrobras* 15(2): 265-287.

Morais, J. (2002). *O valor do pH*. UE-Departamento de Química e Instituto de Ciências Agrárias Mediterrânicas (ICAM)). 6 p.

Piccoli, R., Mexias, A., Figueira, R., Montedo, O. & Bertan, F. (2006). Características das Principais Técnicas Analíticas Aplicadas à Caracterização de Materiais. *17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

Philipp, R., Machado, R. (2001). Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: Petrografia, Tectônica e Aspectos Petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências*. 31(3): 257-266.

**APÊNDICE – FICHAS LABORATORIAIS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO
REGOLITO**

UFRGS/CECO
FICHA GRANULOMÉTRICA DE GROSSEIROS E FINOS

P 82 PESO INICIAL DA AMOSTRA 53.3921
 LOTE _____ PESO INICIAL DE GROSSEIROS 44.4956
 PROGRAMA _____ PESO FINAL DE GROSSEIROS _____
 Nº AMOSTRA 01 PESO FINAL DA AMOSTRA _____

ESCALA	MATERIAL	SIMPLES %	ACUMULADA %	OBSERVAÇÕES
8,00 ₋₃	01,4955	—		
4,00 ₋₂	01,0509	—		
2,00 ₋₁	07,4289	—		
1,00 0	08,3150	—		
0,50 ^{1φ}	07,6961	—		
0,250 ^{2φ}	05,2100	—		
0,125 ^{3φ}	05,1792	—		
0,062 ^{4φ} mm	03,5970			
0,0049	SILT			
0,0002	CLAY			

1/256
(0,004 mm)

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE FINOS

MATERIAL	X 50-0,0087	DIF. PESO TOTAL	% SIMPLES	% ACUMULADA
26,8386				
26,7910				

CECO- CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEANICA

ANALISE INCOMPLETA DA AMOSTRA - PROGRAMA PANICOM / SAG

AMOSTRA: as01 LOTE: 01

PROJETO: L.H.:

COLETA : // LATITUDE :

ANALISE: // LONGITUDE:

EQUIP: PROF:

COR:

ESCALA (mm)	ESCALA (PHI)	MATERIAL (g)	FRE.SIM(%)	FRE.ACUM(%)
-4	16.0000	0.0000	0.000	0.0000
-3	8.0000	1.4955	3.060	3.0602
-2	4.0000	1.0509	2.150	5.2107
-1	2.0000	7.4289	15.202	20.4123
0	1.0000	8.3150	17.015	37.4271
1	0.5000	7.6961	15.748	53.1755
2	0.2500	5.2100	10.661	63.8367
3	0.1250	5.1792	10.598	74.4348
4	0.0620	3.5970	7.360	81.7952
8	0.0039	6.9515	14.225	96.0200
12	0.0002	1.9450	3.980	100.0000

PESO INICIAL DA AMOSTRA.....: 53.3921

PESO INICIAL DE GROSSEIROS...: 44.4956

PESO FINAL DE GROSSEIROS.....: 39.9726

PESO FINAL DA AMOSTRA.....: 48.8691

COR DA AMOSTRA:

CLASSIFICACAO POR FREQUENCIA SIMPLES

CASCALHO...: 20.4123

AREIA.....: 61.3830

SILTE.....: 14.2248

ARGILA.....: 3.9800

CLASSIFICACAO TEXTURAL (SHEPARD):

AREIA COM CASCALHO

UFRGS/CECO
FICHA GRANULOMÉTRICA DE GROSSEIROS E FINOS

P 11 PESO INICIAL DA AMOSTRA 39,7262
 LOTE _____ PESO INICIAL DE GROSSEIROS 36,8879
 PROGRAMA _____ PESO FINAL DE GROSSEIROS _____
 Nº AMOSTRA AS-02 PESO FINAL DA AMOSTRA _____

ESCALA	MATERIAL	SIMPLES %	ACUMULADA %	OBSERVAÇÕES
	01,0069			
	01,2131			
	04,2821			
	10,9545			
	09,6022			
	07,4222			
	02,3625			

1/256
(0,004 mm)

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE FINOS

MATERIAL	X 50-0,0087	DIF. PESO TOTAL	% SIMPLES	% ACUMULADA
26,6924				
26,6690				

CECO- CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEANICA

ANALISE INCOMPLETA DA AMOSTRA - PROGRAMA PANICOM / SAG

AMOSTRA: as02 LOTE: 01
PROJETO: L.H. :
COLETA : // LATITUDE :
ANALISE: // LONGITUDE:
EQUIP: PROF:
COR:

ESCALA (mm)	ESCALA (PHI)	MATERIAL (g)	FRE.SIM(%)	FRE.ACUM(%)
-4	16.0000	0.0000	0.000	0.0000
-3	8.0000	0.0000	0.000	0.0000
-2	4.0000	1.0069	2.537	2.5374
-1	2.0000	1.2131	3.057	5.5945
0	1.0000	4.2821	10.791	16.3856
1	0.5000	10.9545	27.606	43.9915
2	0.2500	9.6022	24.198	68.1895
3	0.1250	7.4222	18.704	86.8937
4	0.0620	2.3625	5.954	92.8474
8	0.0039	2.1033	5.300	98.1479
12	0.0002	0.7350	1.852	100.0000

PESO INICIAL DA AMOSTRA.....: 39.7262
PESO INICIAL DE GROSSEIROS....: 36.8879
PESO FINAL DE GROSSEIROS.....: 36.8435
PESO FINAL DA AMOSTRA.....: 39.6818

COR DA AMOSTRA:

CLASSIFICACAO POR FREQUENCIA SIMPLES

CASCALHO...: 5.5945
AREIA.....: 87.2529
SILTE.....: 5.3005
ARGILA.....: 1.8521

CLASSIFICACAO TEXTURAL (SHEPARD):

AREIA