



**UFRJ**

**Ana Carolina Lisbôa Barboza**

**CARACTERIZAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS EM  
DEPÓSITOS FLUVIAIS PALEOGÊNICOS NA BACIA DE  
VOLTA REDONDA, RJ**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
(Bacharelado em Geologia)**

**UFRJ  
Rio de Janeiro  
2007**



UFRJ

**Ana Carolina Lisbôa Barboza**

**CARACTERIZAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS EM DEPÓSITOS  
FLUVIAIS PALEOGÊNICOS NA BACIA DE VOLTA REDONDA, RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
em Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentado como requisito necessário para  
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Gerson Cardoso da Silva Junior  
Claudio Limeira Mello

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2007

BARBOZA, Ana C.L.

**Caracterização de parâmetros hidráulicos em depósitos fluviais paleogênicos da Bacia de Volta Redonda, RJ** / Ana Carolina Lisboa Barboza - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2007.  
xii, 37 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2007.

Orientador(es): Gerson Cardoso da Silva Jr., Cláudio Limeira Mello

1. Geologia. 2. Geologia de Engenharia e Ambiental – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Gerson, Cardoso da Silva Jr.. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Caracterização de parâmetros hidráulicos em depósitos fluviais paleogênicos da Bacia de Volta Redonda, RJ.

Ana Carolina Lisbôa Barboza

CARACTERIZAÇÃO DE PARÂMETROS HIDRÁULICOS EM DEPÓSITOS FLUVIAIS  
PALEOGÊNICOS NA BACIA DE VOLTA REDONDA, RJ

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
em Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentado como requisito necessário para  
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Gerson Cardoso da Silva Junior  
Claudio Limeira Mello

Aprovada em: 06/03/2007

Por:

---

Orientador: Gerson Cardoso da Silva Junior – IGEO-UFRJ

---

Orientador: Claudio Limeira Mello – IGEO-UFRJ

---

Helena Polivanov - IGEO-UFRJ

---

Adalberto da Silva – LAGEMAR - UFF

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2007

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2007

Dedico esse trabalho especialmente aos meus pais, Jorge e Cristina, as minhas irmãs, Flávia e Natália, a minha querida avó Celina e a todos os meus tios (principalmente a Sandra).

## **Agradecimentos**

Ao professor Gerson Cardoso da Silva Jr. pela orientação e aprendizado transmitido durante este trabalho.

Ao meu co-orientador, professor Cláudio Limeira Mello pela dedicação, apoio, atenção e por todas as sugestões dadas no decorrer desta pesquisa.

Aos meninos: Cláudio Marques, André Negrão e Lucas Costa pelo apoio nas atividades de campo, sem eles com certeza meu campo seria mais demorado, pois foram estes rapazes que pegaram no pesado ao fazer as sondagens para os ensaios do Guelph. Ao professor Renato Ramos pela participação no campo.

Aos amigos e colegas de pesquisa do Laboratório de Hidrogeologia: Elisa Bento, Alexandre Cruz, Rosemari Fabianovicz, Juliana Menezes, Ana Vettorazzi, Cynthia Augusto e Rafael pela colaboração laboratorial e por estarem sempre prontos a compartilhar seus conhecimentos, além dos bons momentos de descontração no laboratório.

Ao Cauê Bielschowsky pelos conhecimentos transmitidos sobre o permeâmetro de Guelph e o *Grapher* e ao Rodrigo Stutz pela gentileza ao ensinar, mesmo à distância, o procedimento do permeâmetro de carga.

Ao Cidnei e ao Jairo, ambos da oficina do Instituto de Geociências, pela paciência, cooperação e eficiência ao instalar as pedras porosas no permeâmetro de carga.

Ao laboratorista Roberto, do Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da UFRJ, pela orientação e ajuda nos ensaios granulométricos.

A Fundação Universitária José Bonifácio - FUJB pela concessão de bolsa de iniciação científica.

Ao André Pelech que enviou por sedex todos os artigos que poderiam ser úteis na confecção da geologia regional.

A minha amiga e “alma” Ghislaine Medeiros pela colaboração nas atividades de campo e laboratoriais e pelo seu sorriso confortante nas horas de angústia. A eterna amiga e praticamente irmã Luana Alves pela preocupação, dedicação e colaboração nas atividades laboratoriais. A amiga e companheira Alessandra Rosa que colaborou mesmo que indiretamente neste trabalho. Bom, sem o apoio dessas meninas não sei o que seria de mim! Meninas lembrem-se: “Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que tu cativas!”.

E a toda a turma de 2002, “Smorfets e Fanfarrões”, por esses anos de jornada!

## Resumo

BARBOZA, A. C. L. **Caracterização de parâmetros hidráulicos em depósitos fluviais paleogênicos na Bacia de Volta Redonda, RJ.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O presente estudo tem por objetivo a caracterização de parâmetros hidráulicos dos depósitos fluviais paleogênicos da Bacia de Volta Redonda, através de ensaios de condutividade hidráulica e análises granulométricas. Com este estudo, busca-se produzir uma base de dados hidrogeológicos aplicáveis à caracterização de hidrofácies (corpos sedimentares interconectados com distintas propriedades hidráulicas) e à modelagem de fluxo das águas subterrâneas. A metodologia utilizada nesta pesquisa consistiu em ensaios de permeabilidade *in situ* (permeâmetro de Guelph) e de laboratório (permeâmetro de carga variável), além de análises granulométricas realizadas em cada fácies sedimentar existente na área de estudo. Essas fácies sedimentares foram caracterizadas por Marques (2006) e pertencem às formações Resende e Pinheiral. Os resultados estimados da condutividade hidráulica apresentaram-se coerentes às características sedimentológicas. Os depósitos sedimentares da Formação Resende são constituídos por areia fina a média com presença de matriz argilosa e apresentaram condutividade hidráulica moderada a muito baixa, variando de  $10^{-4}$  a  $10^{-8}$  cm/s, estes valores indicam um reservatório pobre. A Formação Pinheiral apresenta camadas arenosas com níveis conglomeráticos, limitadas por intervalos pelíticos pouco espessos. Esses pelitos possuem muito baixa permeabilidade, com condutividade hidráulica variando de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  cm/s. O topo dessa formação teve a mais alta permeabilidade, em torno de  $10^{-3}$  cm/s. A Formação Pinheiral apresenta, portanto características de reservatório e deve-se levar em consideração que seu topo funciona como recarga do aquífero. A partir dos resultados obtidos de condutividade hidráulica, que variaram de  $10^{-8}$  a  $10^{-3}$  cm/s, para as formações Resende e Pinheiral da área em estudo, concluiu-se que esses depósitos possuem de muito baixa a média condutividade hidráulica, predominando as permeabilidades mais baixas, o que explica a baixa produtividade do aquífero multicamadas de Volta Redonda.

Palavras-chave: Bacia de Volta Redonda; condutividade hidráulica; análises granulométricas.



### *Abstract*

BARBOZA, L.C.A. **Characterization of hydraulic parameters in paleogênicos fluvial deposits in the Volta Redonda Basin in, R J.** 2007. xii, 37 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The present study aims for the characterization of the hydrogeological parameters of the Paleogenic fluvial deposits of Volta Redonda Geological Basin, through hydraulic conductivity determinations and grain sized analyses. The overall goal was to produce a hydrogeological data base applicable to the characterization of hydrofacies (interconnected sedimentary bodies with distinct hydraulic properties) and the modelling groundwater flow. The used methods used consisted of *in situ* permeability determinations (Guelph permeameters) and laboratory tests (variable head permeameter), besides grain size analyses carried out in each sedimentary facies in the study area. These sedimentary facies were characterized by Marques (2006) and belong to the Resende and Pinheiral formations. The permeameter results were coherent to the sedimentological characteristics. The Resende Formation sedimentary deposits are constituted by medium to fine sand with presence of argillaceous matrix and present moderate to very low hydraulic conductivity, varying between  $10^{-4}$  to  $10^{-8}$  cm/s, which indicates a poor reservoir. The Pinheiral Formation presents sandy layers with conglomeratic lenses, limited by small thickness pelitic intervals, with a very low permeability, with a hydraulic conductivity varying between  $10^{-5}$  to  $10^{-7}$  cm/s. The upper layer has the maximum permeability, around  $10^{-3}$  cm/s. This formation presents a medium reservoir characteristics and it must be taken into consideration that the upper layer has as role in recharge to the aquifer. From the results of hydraulic conductivity, that varies from  $10^{-8}$  to  $10^{-3}$  cm/s for the Resende and Pinheiral formations, it is concluded that these deposits a low to medium hydraulic conductivity, explaining the low productivity of the water-bearing multilayered aquifer of Volta Redonda Basin.

Key-Words: Volta Redonda Basin; hydraulic conductivity; grain-size analysis.

## Índice de figuras

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DE VOLTA REDONDA, SITUADA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E SUAS PRINCIPAIS VIAS DE ACESSO (SANSON, 2006). .....	4
FIGURA 2 - ESTRUTURAÇÃO GEOLÓGICA DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL, COM OS PRINCIPAIS LINEAMENTOS ENE E NE, E DESTAQUE PARA AS BACIAS SEDIMENTARES QUE COMPÕEM O RCSB (MODIFICADO DE MELO ET. AL., 1985).....	6
FIGURA 3 - MAPA GEOLÓGICO DO SEGMENTO CENTRAL DA FAIXA RIBEIRA NA REGIÃO DAS BACIAS DE RESENDE E VOLTA REDONDA, DE ACORDO COM HEILBRON <i>ET AL</i> (2004). EXTRAÍDO DE SANSON (2006). .....	7
FIGURA 4 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE VOLTA REDONDA E EVENTOS TECTÔNICOS CENOZÓICOS RECONHECIDOS (SANSON, 2006). VER TEXTO PARA DETALHAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS.....	10
FIGURA 5 - MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DE VOLTA REDONDA (SANSON, 2006).....	11
FIGURA 6 – FOTOMOSAICO E SEÇÃO GEOLÓGICA DO AFLORAMENTO ESTUDADO, MOSTRANDO OS LOCAIS ONDE FORAM REALIZADOS A AMOSTRAGEM E OS ENSAIOS COM O PERMEÂMETRO DE GUELPH (MARQUES, 2006). .....	14
FIGURA 7 - ESQUEMA DO EXPERIMENTO DE DARCY (CABRAL, 1997). .....	16
FIGURA 8 - PERMEÂMETRO DE GUELPH MODIFICADO UTILIZADO <i>IN SITU</i> , COM SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES.....	20
FIGURA 9 – (A) ESQUEMA DO PERMEÂMETRO GUELPH (SOTO, 1999 <i>APUD</i> BIELSCHOWSKY, 2005). (B) OBTENÇÃO DO FLUXO EM REGIME PERMANENTE (SOTO, 1999 <i>APUD</i> BIELSCHOWSKY, 2005). .....	21
FIGURA 10 – VARIAÇÃO DO PARÂMETRO <b>C</b> COM RELAÇÃO À CARGA APLICADA ( <b>H</b> ) E O RAIOS DA SONDAGEM ( <b>A</b> ) (SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP., 1986 <i>APUD</i> BIELSCHOWSKY, 2005)..	22
FIGURA 11 – ESQUEMA DE UM PERMEÂMETRO: (A) DE CARGA CONSTANTE E (B) DE CARGA VARIÁVEL (ADAPTADO DE KRESIC, 1997 <i>APUD</i> SALGUEIRO, 2005).....	23
FIGURA 12 – COLETA DE AMOSTRA SEMIDEFORMADA, EM DESTAQUE O CORPO DE PROVA SENDO COLETADO EM UM CILINDRO COM 5 CM DE COMPRIMENTO E 20,4 CM <sup>2</sup> DE ÁREA TRANSVERSAL. ....	25
FIGURA 13 - AMOSTRA SEMIDEFORMADA COLETADA AO LADO DA SONDAGEM REALIZADA PARA O ENSAIO DE GUELPH.....	26

FIGURA 14: ESTIMATIVA DAS POSSÍVEIS HIDROFÁCIES DOS SEDIMENTOS FLUVIAIS PALEOGÊNICOS DA BACIA DE VOLTA REDONDA.....	33
--	----

## Índice de Tabelas

TABELA 1 - FÁCIES SEDIMENTARES IDENTIFICADAS E SUAS INTERPRETAÇÕES (MARQUES, 2006). .....	12
TABELA 2 - FAIXA DE VALORES DE PERMEABILIDADE INTRÍNSECA E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA VÁRIOS MATERIAIS NÃO CONSOLIDADOS (FETTER, 1994). ....	18
TABELA 3 – RELAÇÃO DE SOLOS COM $\alpha^*$ (ELRICK ET AL., 1989). ....	22
TABELA 4 - VALOR DO COEFICIENTE C DE ACORDO COM O MATERIAL (FETTER, 1994). ....	28
TABELA 5 - RESULTADOS DA CLASSE MODAL, MEDIANA, SELEÇÃO E DIÂMETRO EFETIVO REFERENTE A CADA LITOFÁCIES. ....	29
TABELA 6 – RESULTADOS CALCULADOS DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA ATRAVÉS DE ENSAIOS DE GUELPH E DE LABORATÓRIO RELACIONADOS ÀS PROPRIEDADES FÍSICAS. ....	33

## Anexos

Anexo A – Análises granulométricas das amostras da área de estudos.....	39
---	----

**Sumário**

<i>Agradecimentos</i> .....	<i>vi</i>
<i>Resumo</i> .....	<i>viii</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>ix</i>
<i>Índice de figuras</i> .....	<i>x</i>
<i>Índice de Tabelas</i> .....	<i>xii</i>
<i>Anexos</i> .....	<i>xii</i>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>3</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS .....	3
3.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS .....	4
3.3 HIDROGRAFIA .....	4
3.4 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO .....	5
3.5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	6
3.6 ESTRATIGRAFIA DA BACIA DE VOLTA REDONDA .....	8
3.7 FÁCIES SEDIMENTARES DO AFLORAMENTO ESTUDADO .....	12
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>15</b>
4.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	15
4.1.1 <i>Lei de Darcy</i> .....	16
4.1.2 <i>Condutividade Hidráulica</i> .....	17
4.2 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE.....	18
4.2.1 <i>Permeâmetro de Guelph Modificado</i> .....	19
4.2.2 <i>Permeâmetro de laboratório</i> .....	23
4.2.3. <i>Análise granulométrica</i> .....	27
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
5.2 ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS .....	28
5.3 ENSAIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA OBTIDOS <i>IN SITU</i> E EM LABORATÓRIO .....	29
5.3.1 <i>Relações entre a condutividade hidráulica e as fácies sedimentares</i> .....	30
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>34</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto “Modelagem Estratigráfica de Reservatórios Terrígenos: aplicação à avaliação do potencial hídrico da Bacia de Resende (MODESTHI)” desenvolveu uma metodologia integrando técnicas multidisciplinares para análise do potencial hidrogeológico em áreas sedimentares sob enfoque da geologia de reservatório, tomando-se como caso de estudo a Bacia Sedimentar de Resende, RJ (Bettini, 2004).

Através de pesquisas hidrogeológicas desenvolvidas nesse projeto, associadas a dados levantados por pesquisadores de diversas áreas ligadas à caracterização geológica e geofísica da Bacia de Resende, gerou-se um modelo hidrogeológico da área (Castro *et al.*, 2000). Embora tenham sido levantados muitos dados hidrogeológicos da região, no relatório final do projeto MODESTHI recomendou-se a continuidade dos estudos em várias frentes que carecem de maior detalhamento, que serão de grande importância para o aperfeiçoamento do conhecimento hidrogeológico e do modelo de funcionamento do sistema aquífero da Bacia de Resende ou de bacias semelhantes, como é o caso da Bacia de Volta Redonda, situada próximo à Bacia de Resende.

Neste contexto, a presente pesquisa teve como tema principal a caracterização de hidrofácies nos depósitos fluviais paleogênicos da Bacia de Volta Redonda, tomando como base estudos litofaciológicos já existentes (Sanson, 2006; Marques, 2006).

Hidrofácies são definidas como corpos sedimentares interconectados com propriedades hidráulicas similares, o que determina o fluxo em aquíferos sedimentares (Anderson *et al.*, 1990 *apud* Ezzy *et al.*, 2006). O entendimento das hidrofácies pode orientar o estudo do fluxo da água subterrânea e, principalmente, caracterizar a heterogeneidade do aquífero. Com isso, busca-se fornecer subsídios para o melhor

entendimento dos principais reservatórios sedimentares da região, do tipo aquífero multicamadas.

O aquífero sedimentar multicamadas da bacia de Volta Redonda ocorre nas imediações da cidade homônima, com espessura de até 30 m e possui baixa produtividade, inferior a 1000 L/h (Capucci *et al.*, 2003).

Ressalte-se que praticamente não há pesquisas abrangentes sobre a hidrogeologia da Bacia de Volta Redonda. A relevância sócio-econômica do projeto decorre do ritmo acelerado de industrialização da região, induzindo o crescimento demográfico e a conseqüente demanda pelo abastecimento de água, tanto para o uso industrial quanto doméstico.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como principal objetivo associar fácies sedimentares a parâmetros hidrogeológicos nos depósitos sedimentares paleogênicos que preenchem a Bacia Sedimentar de Volta Redonda, inserida no segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), definindo hidrofácies.

Dentro deste estudo, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- estimar a condutividade hidráulica utilizando ensaios de permeabilidade em fácies sedimentares estudadas por Marques (2006);
- fornecer dados para uma futura caracterização de hidrofácies.

Busca-se, neste estudo, o maior conhecimento dos aquíferos multicamadas nas bacias sedimentares do RCSB, ainda pouco estudados, mas bastante explorados para fins de

abastecimento urbano e industrial. Nesta pesquisa, pretende-se fornecer dados que subsidiem futuras modelagens de fluxo das águas subterrâneas nestes aquíferos.

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 Localização e Acessos**

A Bacia de Volta Redonda localiza-se no trecho inferior do médio vale do rio Paraíba do Sul, entre as serras do Mar e da Mantiqueira, no sul do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). A principal cidade localizada na área de estudo é Volta Redonda, que se destaca como um importante pólo industrial onde se localiza a maior usina siderúrgica da América Latina, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN).

A Rodovia Presidente Dutra (BR-116), que liga os estados do Rio de Janeiro a São Paulo, é a principal via de acesso à área de estudo. Através desta rodovia, consegue-se alcançar a região da Bacia de Volta Redonda por estradas de acesso direto à cidade de Volta Redonda (RJ-494 e BR-393).

No gráben da Casa de Pedra, que se estende entre a localidade de Casa de Pedra, em Volta Redonda, e o município de Pinheiral, estão os principais afloramentos de rochas sedimentares da bacia. Nesta região, destaca-se o afloramento da Rodovia do Contorno (interligando a BR-116 e a BR-393), descrito por Sanson (2006) e Marques (2006), local escolhido para realização deste estudo.



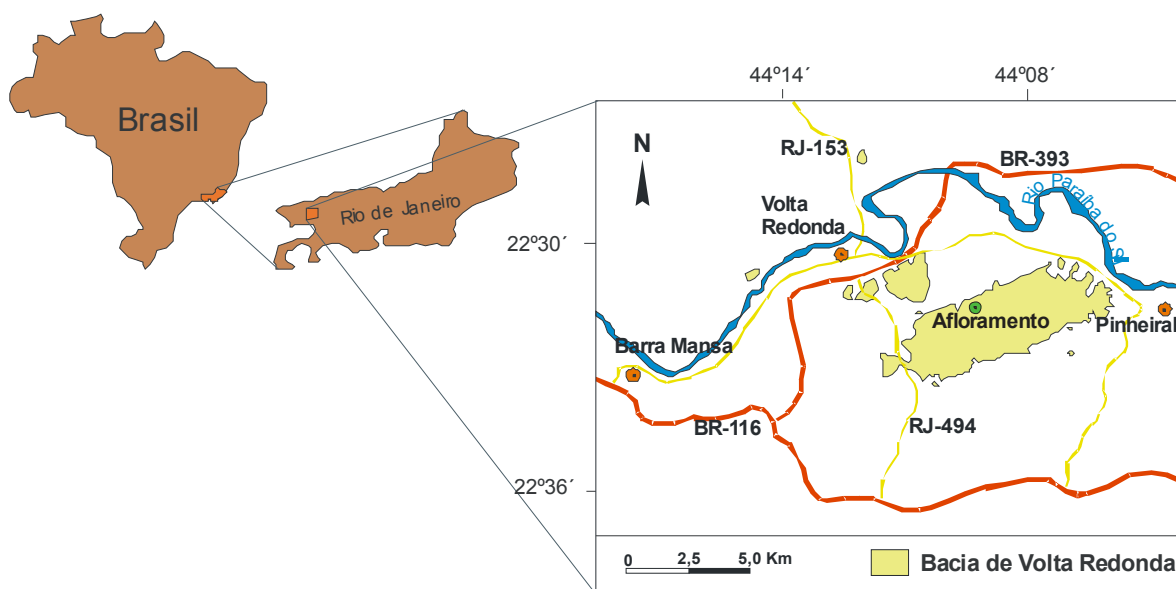


Figura 1 - Mapa de localização da bacia de Volta Redonda, situada no Estado do Rio de Janeiro e suas principais vias de acesso (Sansón, 2006).

### 3.2 Aspectos Climáticos

A região de Volta Redonda apresenta clima mesotérmico, com verões quentes e chuvosos, e invernos secos (P.M Volta Redonda, 2006). A umidade relativa do ar é alta, atingindo aproximadamente 77%, mesmo nos meses de inverno, quando varia entre 71% e 72%.

A temperatura média mínima anual é de 16,5 °C, aproximadamente, e a média máxima anual pode atingir 27,8°C. A precipitação média anual é de 1378 mm, sendo janeiro e fevereiro os meses com maiores incidências de chuvas.

### 3.3 Hidrografia

O rio Paraíba do Sul, que domina a paisagem urbana de Volta Redonda, é o corpo receptor natural de toda malha hidrográfica regional e, ao mesmo tempo, é o grande manancial de abastecimento de que a cidade dispõe.

A estrutura hidrográfica da região caracteriza-se pela grande quantidade de riachos e córregos perpendiculares ao rio Paraíba do Sul, gerando pequenas bacias ao longo de seu curso.

Para o abastecimento de água da população de Volta Redonda são captados, em média, 1000 L/s ou 86,4 milhões de litros por dia, sendo esta captação realizada no rio Paraíba do Sul. Em Volta Redonda, este rio sofre uma redução de pelo menos 6 m<sup>3</sup>/s em sua vazão média em relação ao Município de Barra Mansa, situado a montante. A presença da usina da CSN é fundamental para explicar essa diferença, pois a empresa consome grande volume de água, captando cerca de 12 m<sup>3</sup>/s.

### 3.4 Contexto Geomorfológico

Segundo Mello *et al.* (2006) os domínios geológico-geomorfológicos da Bacia de Volta Redonda são:

- *Planície fluvial* do rio Paraíba do Sul, de idade quaternária;
- *Morros em degraus topográficos sobre substrato cristalino*: compartimentos de morros dissecados, compondo degraus topográficos que limitam a Bacia de Volta Redonda e o Gráben Casa de Pedra. Os compartimentos apresentam orientação NE-SW, controlada pelas estruturas do embasamento cristalino, e limitam-se abruptamente com a planície fluvial do rio Paraíba do Sul e as colinas do Gráben Casa de Pedra;
- *Colinas do Gráben Casa de Pedra*: colinas suaves e pouco dissecadas, desenvolvidas sobre os depósitos terciários que preenchem o gráben. As falhas que definem o contato com o embasamento cristalino estão nitidamente expressas na topografia das encostas e vales, formando áreas de estrangulamento da drenagem (“gargantas”).

### 3.5 Contexto Geológico Regional

A Bacia de Volta Redonda, juntamente com as bacias de São Paulo, Taubaté e Resende, constituem um conjunto de bacias tafrogênicas continentais, denominado por Almeida (1976) como “Sistema de *Rifts* da Serra do Mar”. Atualmente, essa feição tectônica é conhecida como *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), que corresponde a um complexo de vales tectônicos, serras e bacias sedimentares com orientação ENE-WSW, de idade Eoceno-Oligoceno, que se estende de Curitiba ao litoral norte do Rio de Janeiro (Riccomini, 1989)- figura 2.

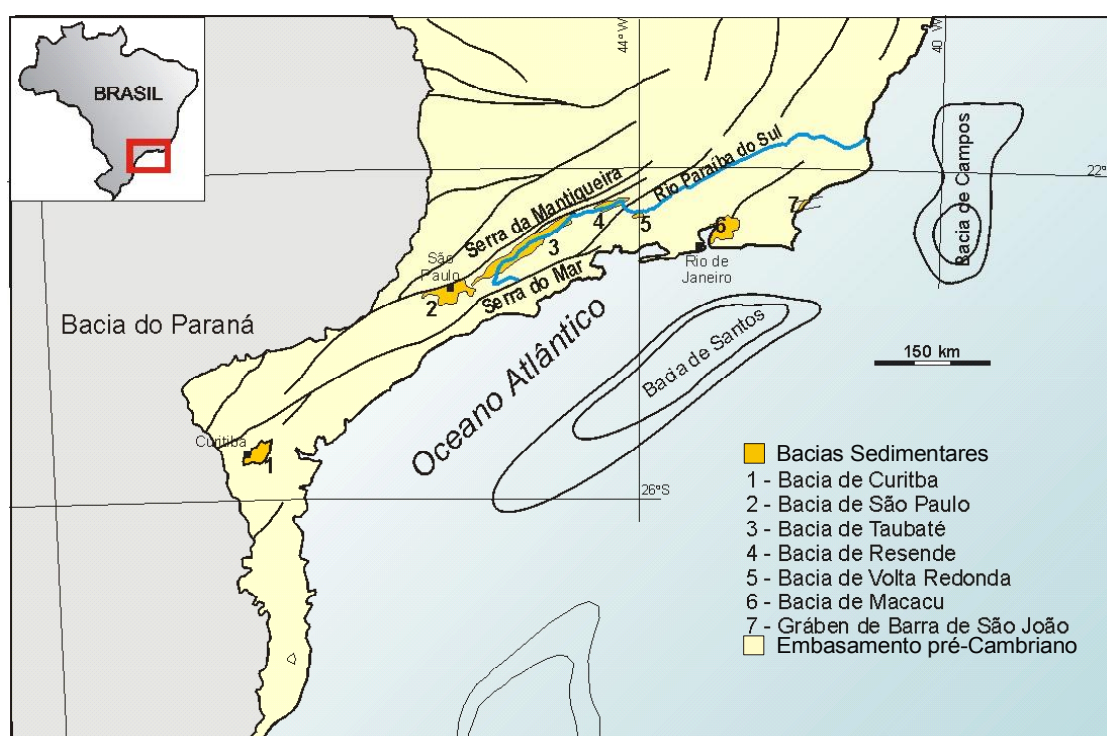


Figura 2 - Estruturação geológica da região sudeste do Brasil, com os principais lineamentos ENE e NE, e destaque para as bacias sedimentares que compõem o RCSB (modificado de Melo et al., 1985).

O RCSB está implantado sobre o segmento central da Faixa Móvel Ribeira, que constitui um complexo cinturão de dobramentos e empurrões gerados no Neoproterózoico/Cambriano, durante a Orogênese Brasileira (Heilbron *et al.*, 1995). As unidades do embasamento da Bacia de Volta Redonda foram caracterizadas por Heilbron *et*

al. (2004) em: *Complexo Juiz de Fora* (ortogranulitos paleoproterozóicos), *Complexo Quirino* (composto por hornblenda-ortognaisse e granitóides), *Grupo Paraíba do Sul* (corresponde a uma sucessão metassedimentar) e *corpos granitóides sintectônicos brasileiros* (Figura 3).

Ocorrem três grandes corpos plutônicos compostos essencialmente por nefelinasienitos, de idade mesozóica, na vizinhança das bacias de Resende e Volta Redonda, que correspondem aos maciços Itatiaia, Passa Quatro e Morro Redondo (Figura 3).

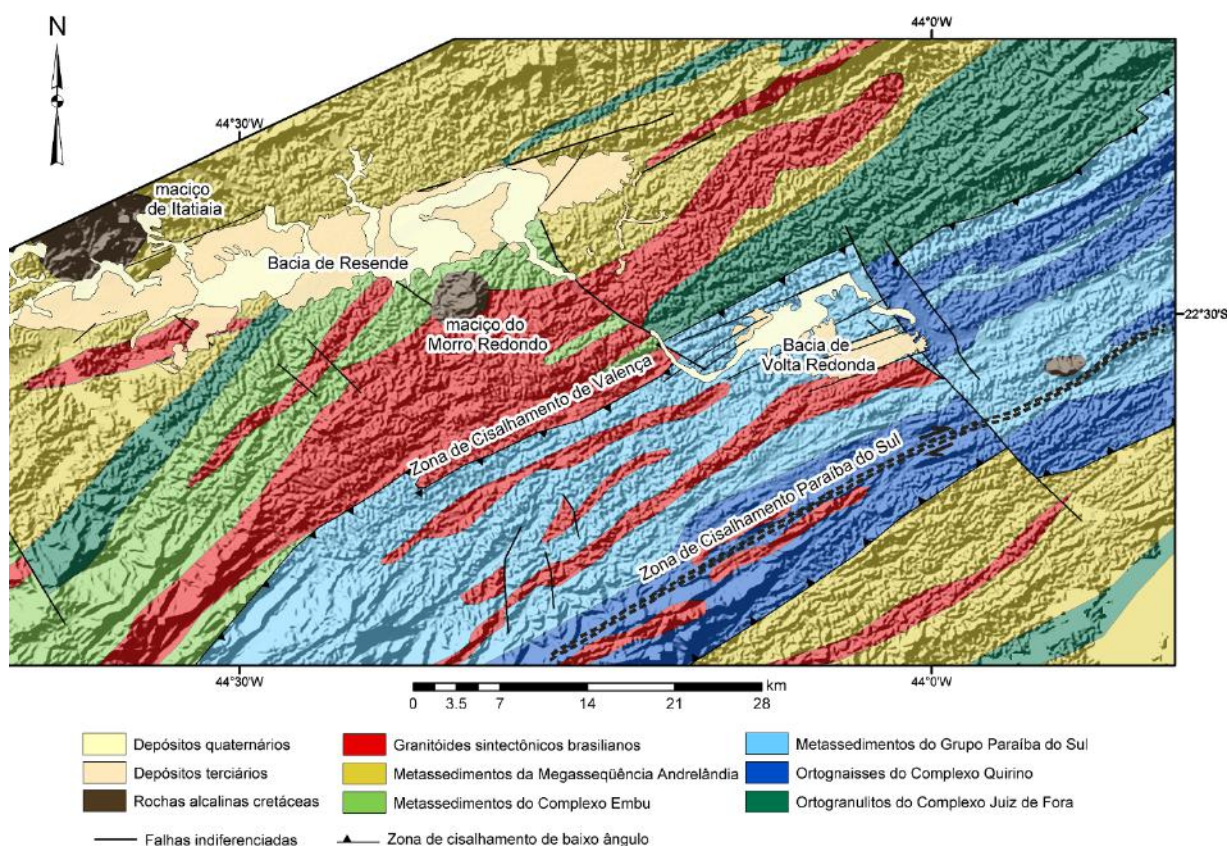


Figura 3 - Mapa geológico do segmento central da Faixa Ribeira na região das bacias de Resende e Volta Redonda, de acordo com Heilbron *et al* (2004). Extraído de Sanson (2006).

Segundo Trouw *et al.* (2000), a Faixa Ribeira sofreu diversas fases orogênicas, gerando unidades geológicas complexas, individualizadas por discontinuidades tectônicas apresentando direção ENE-WSW.

O preenchimento sedimentar paleogênico desenvolvido nas bacias do segmento central do RCSB é associado a sistemas de leques aluviais e canais fluviais entrelaçados,

representados por depósitos conglomeráticos a arenosos intercalados com depósitos lamíticos (Melo *et al.*, 1985).

### 3.6 Estratigrafia da Bacia de Volta Redonda

O primeiro trabalho sobre a estratigrafia da Bacia de Volta Redonda foi realizado por Amador & Castro (1976), que dividiram seus depósitos em duas unidades separadas: *Camadas terciárias pré-Formação Volta Redonda* (arenitos fluviais) e *Formação Volta Redonda* (conglomerados, arenitos feldspásticos e argilitos de origem fluvial).

Melo *et al.* (1983) e Riccomini (1989) consideraram não haver características que justificassem a subdivisão do registro sedimentar em duas unidades, como sugerido por Amador & Castro (1976), reunindo os depósitos em uma única unidade estratigráfica, correlacionada à Formação Resende, anteriormente descrita na bacia de Resende.

Riccomini *et al.* (1983 *apud* Riccomini *et al.*, 1996) descreveram derrames de lavas ankaramíticas intercalados aos lamitos da Formação Resende presentes no Gráben de Casa de Pedra. Através de datações por K-Ar em rocha total, situaram estas lavas no Eoceno final (*ca.* 43 Ma). Lima *et al.* (1994 *apud* Riccomini *et al.*, 1996), através de estudos palinológicos em folhelhos da Formação Resende, presentes no *Gráben* de Casa de Pedra, em Volta Redonda (RJ) obtiveram idade Eoceno final. Riccomini *et al.* (2004) através do método Ar-Ar dataram as rochas ultrabásicas alcalinas entre os depósitos paleogênicos em  $48,3 \pm 0,5$  e  $47,6 \pm 0,7$  Ma.

Levantamentos audiomagnetotelúricos realizados na Bacia de Volta Redonda por Padilha & Vitorello (1992 *apud* Sanson, 2006) indicaram que as maiores espessuras de acumulação sedimentar estariam nas proximidades da borda norte da bacia, alcançando cerca de 112 m de profundidade.

A partir da caracterização de associações litológicas e de suas relações de contato, Sanson (2006) redefiniu a estratigrafia da bacia de Volta Redonda (Figuras 4 e 5), designando as seguintes unidades:

- **Formação Ribeirão dos Quatis:** depósitos predominantemente conglomeráticos. Na Bacia de Volta Redonda, esta formação ocorre de maneira descontínua em meio a rochas do embasamento, em afloramentos isolados concentrados na região ao norte do rio Paraíba do Sul. A espessura máxima desta unidade pode alcançar de 6 a 8 m aproximadamente. A Formação Ribeirão dos Quatis representa um sistema fluvial entrelaçado conglomerático.
- **Formação Resende:** representa a maior parte dos depósitos paleogênicos da Bacia de Volta Redonda, sendo caracterizada por arenitos maciços e arenitos lamosos, depositados em planície de inundação, com desenvolvimento incipiente de paleossolos aluviais (Marques, 2006), intercalados a sedimentos arenosos estratificados ricos em feldspato, produzidos por fluxos trativos vigorosos, com rápido soterramento. Essa unidade representa um sistema fluvial de alta energia, com episódios de inundação significativos.
- **Basanita Casa de Pedra:** rochas ultrabásicas alcalinas identificados no gráben da Casa de Pedra, Riccomini *et al.* (2004), obtiveram idades Ar - Ar em torno de  $48,3 \pm 0,5$  e  $47,6 \pm 0,7$  Ma, situando-as no Eoceno médio.
- **Formação Pinheiral:** arenitos estratificados com geometria lenticular estendida, limitados por intervalos predominantemente pelíticos. Esta formação é interpretada como um sistema fluvial de baixa sinuosidade, arenoso, com freqüentes reativações e avulsões dos canais fluviais, sendo os intervalos pelíticos associados ao preenchimento de canais abandonados.
- **Sedimentos neogênicos:** depósitos areno-argilosos, com coloração castanho-amarelado, que recobrem colinas de conformação suave.

➤ **Sedimentos quaternários:** depósitos coluviais e aluviais preservados nos vales fluviais e cabeceiras de drenagem. Os depósitos aluviais são representados por camadas tabulares de areias finas a grossas, estratificadas, intercaladas a camadas silto-argilosas, que preenchem fundo de vales e cabeceiras de drenagem entulhadas. Esses depósitos podem alcançar cerca de 8 m de espessura. Já os depósitos coluviais alcançam aproximadamente 1 m de espessura, e são caracterizados por sedimentos areno-argilosos muito mal selecionados, com grânulos e seixos de quartzo dispersos, e limitados por linhas de seixos na base.

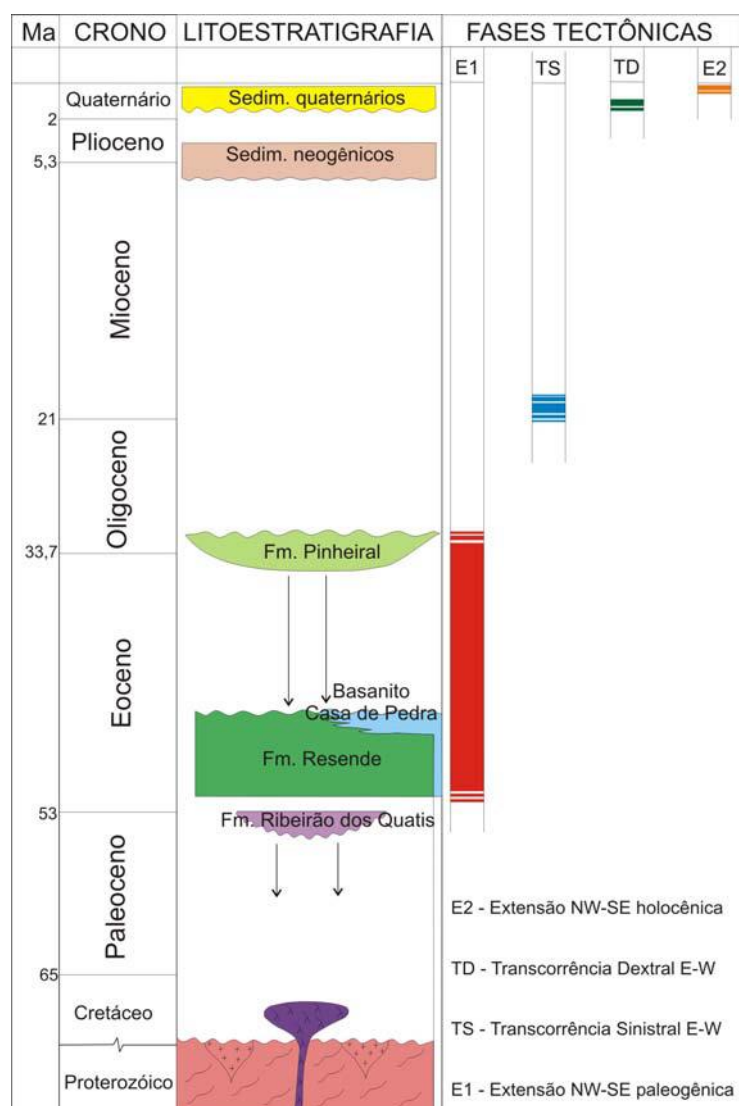


Figura 4 - Coluna estratigráfica da Bacia de Volta Redonda e eventos tectônicos cenozóicos reconhecidos (Sanson, 2006). Ver texto para detalhamento das características das unidades litoestratigráficas.



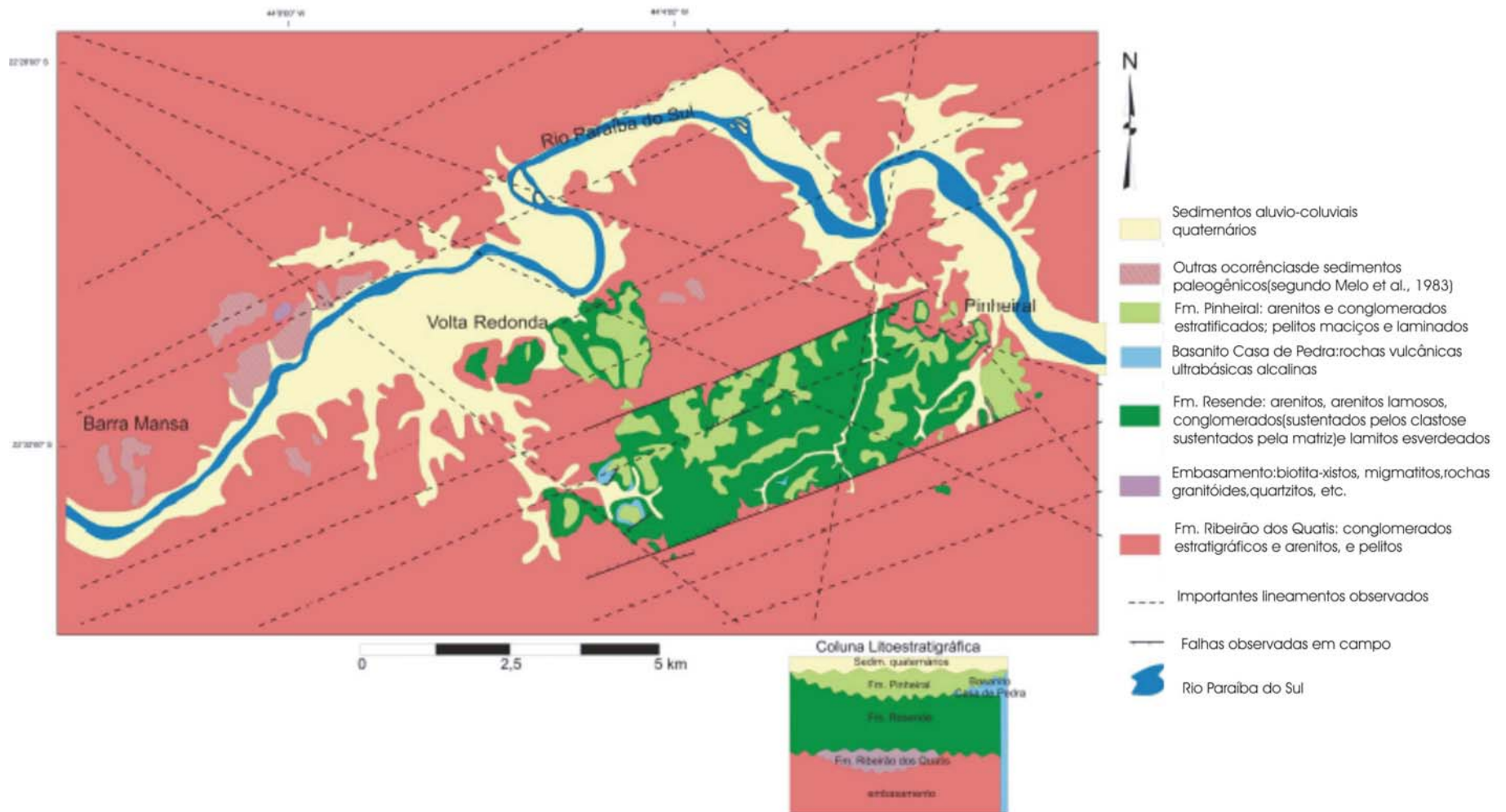


Figura 5 - Mapa geológico da Bacia de Volta Redonda (Sansón, 2006).



### 3.7 Fácies Sedimentares do Afloramento Estudado

As fácies sedimentares investigadas neste estudo foram caracterizadas por Marques (2006), que utilizou os seguintes atributos para classificá-las: textura, composição mineralógica e estruturas sedimentares. Foi adotado um código alfanumérico para identificá-las, com objetivo de representá-las de forma simplificada. Esse código assemelha-se à proposta de Miall (1985): a primeira letra, sempre em maiúscula, representa a litologia dominante; a segunda e a terceira letras aparecem em minúsculo e representam as estruturas sedimentares e características diagnósticas presentes (por exemplo: Alm – Arenito lamoso maciço).

No afloramento em estudo, Marques identificou oito fácies sedimentares (Figura 6), sendo duas rudíticas, cinco areníticas e uma lutítica (Marques, 2006). Essas fácies e suas respectivas interpretações são mostradas na tabela 1.

Segundo Marques (2006), há duas associações de fácies distintas, associadas às formações Resende e Pinheiral, respectivamente (Figura 6). A Formação Resende é caracterizada por arenitos maciços intercalados a arenitos lamosos, em camadas de geometria tabular, espessuras decimétricas e larguras de poucas dezenas de metros, limitadas por contatos gradacionais. Já a Formação Pinheiral é caracterizada por uma superposição de camadas arenosas com níveis conglomeráticos, limitadas por intervalos pelíticos pouco espessos.

<b>Fácies</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Interpretação</b>
Ccm	Conglomerado sustentado pelos clastos, maciço	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos; modificações pós-deposicionais
Cch	Conglomerado sustentado pelos clastos, com estratificação horizontal	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos, intensos e rápidos
Ac	Arenito com estratificação cruzada	Correntes trativas unidirecionais em meio aquoso
Al	Arenito laminado	Fluxos trativos subaquosos de baixa energia
Am <sub>1</sub>	Arenito maciço, com matriz argilosa	Fluxos não confinados durante enchentes; modificações pós-deposicionais
Am <sub>2</sub>	Arenito maciço	Fluxos trativos unidirecionais subaquosos; modificações pós-deposicionais
Alm	Arenito lamoso maciço	Paleossolos aluviais (?)
Pl	Pelito arenoso, maciço a laminado	Decantação de sedimentos finos em planície de inundação

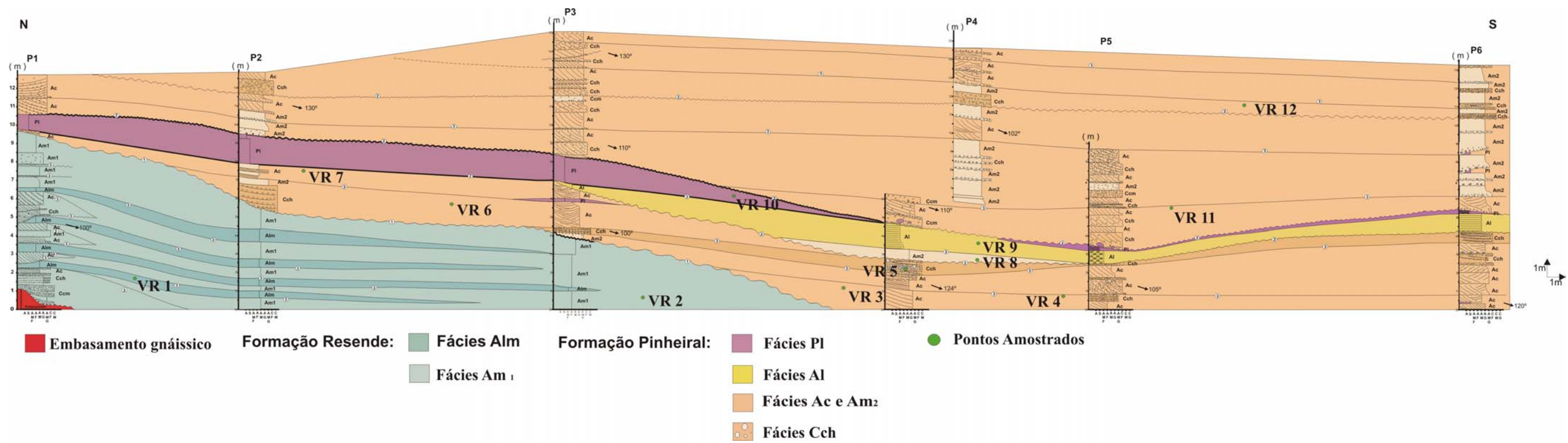


Figura 6 – Fotomosaico e seção geológica do afloramento estudado, mostrando os locais onde foram realizados a amostragem e os ensaios com o permeâmetro de Guelph (Marques, 2006).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Conceitos básicos

O movimento da água subterrânea, a nível microscópico, em um meio poroso é muito complexo, devido a irregularidades dos poros e canalículos através dos quais o fluido deve passar. A porosidade é a capacidade que o solo ou rocha tem de armazenar fluidos e depende do tamanho e arranjo dos grãos, e pode ser medida pelo percentual de volume ocupado pelos vazios. Se a rocha apresentar grãos de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor comparada a rochas com grãos uniformes, pois os grãos menores tendem a ocupar os espaços vazios deixados pelos maiores. As rochas sedimentares possuem alta porosidade ao contrário das rochas cristalinas, mas nem todas possuem alta permeabilidade, já que materiais muito finos, como argilas, podem ter alta porosidade porém muito baixa permeabilidade (Cabral, 1997).

A permeabilidade é a propriedade dos materiais geológicos de transmitir a água ou outros fluidos e depende do tamanho dos poros e da intercomunicação destes. As argilas possuem poros tão pequenos que o fluxo da água passa com dificuldade ou não deixam a água passar tornando-as materiais pouco permeáveis. Outras rochas sedimentares, como os arenitos e areias inconsolidadas, possuem tanto porosidade como permeabilidade elevada. Já nas rochas cristalinas a permeabilidade apresenta-se proporcional ao número de fraturas e da interconexão entre elas, sendo em geral muito baixa (Bocanegra & Silva Jr., 2007).

#### 4.1.1 Lei de Darcy

Henry Darcy, em 1856, pesquisou o escoamento de água em um filtro de areia utilizando dispositivo similar ao mostrado esquematicamente na figura 7 (Fetter, 1994), concluindo que a vazão do escoamento ( $Q$ ) é:

- proporcional à diferença de carga hidráulica ( $h_1$  e  $h_2$ ), entre os piezômetros 1 e 2;
- proporcional à área transversal do filtro ( $A$ );
- inversamente proporcional à distância ( $L$ ) entre os piezômetros 1 e 2.

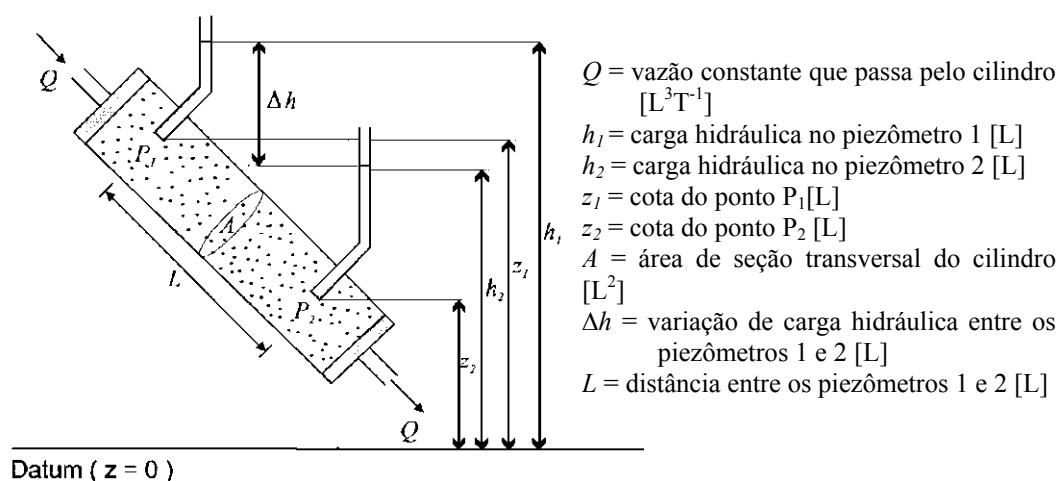


Figura 7 - Esquema do experimento de Darcy (Cabral, 1997).

A lei de Darcy é válida para um escoamento laminar e pode ser expressa da seguinte forma:

$$Q = KA \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad (1)$$

onde:  $K$  = condutividade hidráulica.

Essa equação expressa a vazão da água que passa em um meio poroso, em função da condutividade hidráulica do material arenoso e do gradiente hidráulico.

#### 4.1.2 Condutividade Hidráulica

O coeficiente de proporcionalidade  $K$  da lei de Darcy é denominado “coeficiente de permeabilidade” ou “condutividade hidráulica”. Seu valor depende das características do meio, incluindo porosidade (tamanho e distribuição dos poros), forma e arranjo das partículas, bem como das características do fluido que está escoando, como viscosidade e massa específica (Cabral, 1997). A condutividade hidráulica pode ser expressa em função dos parâmetros do meio e do fluido da seguinte forma:

$$K = \frac{k_i \rho g}{\mu} = \frac{k_i g}{\nu} \quad (2)$$

onde:

$K$  = condutividade hidráulica [ $LT^{-1}$ ]

$k_i$  = permeabilidade intrínseca do meio poroso [ $L^2$ ]

$\rho$  e  $\mu$  = representam as características do fluido, massa específica e viscosidade respectivamente [ $L^2T^{-1}$ ].

$g$  = aceleração da gravidade [ $LT^{-2}$ ]

$\nu$  = velocidade do líquido no tubo [ $LT^{-1}$ ].

A permeabilidade intrínseca ( $k_i$ ) é função somente das propriedades do material poroso, sua granulometria e sua disposição textural e usualmente é expressa em unidades *darcy* [ $L^2$ ].

A relação entre a condutividade hidráulica e a permeabilidade intrínseca é:

$$K = k_i (\gamma / \mu) \quad (3)$$

Onde:  $K$  = condutividade hidráulica [ $LT^{-1}$ ]

$k_i$  = permeabilidade intrínseca do solo [ $L^2$ ]

$\gamma$  = peso específico líquido percolante ( $ML^{-2}T^{-2}$ )

$\mu$  = viscosidade dinâmica do líquido percolante ( $ML^{-1}T^{-1}$ )

A faixa de valores de permeabilidade intrínseca e da condutividade hidráulica para sedimentos inconsolidados está expresso na tabela 2.

Tabela 2 - Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados (Fetter, 1994).

Material	Permeabilidade intrínseca (darcy)	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; Silte arenoso	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; Areia fina	$10^{-2} - 1$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem distribuída	$1 - 10^2$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem distribuído	$10 - 10^3$	$10^{-2} - 10^0$

#### 4.2 Ensaio de permeabilidade

A condutividade hidráulica pode ser determinada por meio de **métodos empíricos** relacionados com a granulometria, por métodos de **laboratório** ou através de **ensaios de campo** (*in situ*). Os métodos de laboratório apresentam o inconveniente de usarem amostras de tamanho reduzido, representativas, portanto, de pequeno volume de material. Os métodos de campo, apesar de laboriosos, são mais precisos, tendo em vista o maior volume de material considerado sem alterações da sua estrutura (Salgueiro, 2005).

Para se obter a condutividade hidráulica neste estudo, utilizou-se o permeâmetro de Guelph Modificado (método aplicado *in situ*), além do permeâmetro de carga e o método empírico de Hazen (Fetter, 1994), que se enquadram nos métodos laboratoriais.

#### 4.2.1 Permeâmetro de Guelph Modificado

A medição da permeabilidade *in situ* foi realizada com uso de Permeâmetro de Guelph Modificado (Figura 8) pertencente ao Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ. Foram tomadas medidas para cada litofácies identificada no afloramento, totalizando 12 ensaios.

O Permeâmetro de Guelph Modificado foi elaborado pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC/ SP (Vieira, 1998). A base teórica é exatamente a mesma utilizada pelo Permeâmetro de Guelph, desenvolvido na Universidade de Guelph, no Canadá (Reynolds & Elrick, 1983). Porém, modificações na estrutura física ocorreram no intuito de se otimizar sua aplicabilidade em campo. É um permeâmetro de furo e de carga hidráulica constante, que mede a condutividade hidráulica saturada de campo acima do lençol freático.

O permeâmetro tipo Guelph foi projetado para medir a condutividade entre  $10^2$  e  $10^{-6}$  cm/s, abaixo ou acima destas ordens de grandeza, as medições apresentam erros ou não se consegue realizar os ensaios confiáveis (Aguiar, 2001).

O equipamento consiste em um permeâmetro de carga hidráulica constante, que funciona segundo o Princípio do Sifão de Mariotte. Este princípio permite escoamento em velocidade constante (com a diminuição do nível d'água no aparelho), por meio do equilíbrio entre a pressão externa (pressão atmosférica) e a interna do permeâmetro (Oliva, 2006).





Figura 8 - Permeâmetro de Guelph modificado utilizado *in situ*, com seus principais componentes.

Esse permeâmetro (Figura 8) é composto por: uma garrafa de Mariotte, que controla a carga constante de água dentro do furo; um tubo de acrílico com uma régua graduada, onde a água é introduzida; um tripé, que permite adaptar o aparelho em terrenos irregulares; e ponteiros de variados tamanhos. Este método de campo apresenta algumas vantagens, como leveza do aparelho, facilidade em manuseá-lo somente por uma pessoa, rapidez dos ensaios e a utilização de pouca quantidade de água por ensaio.

O procedimento deste ensaio requer, após a seleção da área e os locais a serem amostrados, a realização de furos a trado, devendo-se obter furos com fundo horizontal plano, onde é introduzida uma carga constante de água até que se atinja um estado de regime permanente. Esse fluxo permanente produz um “bulbo” de saturação adjacente à sondagem,

cercado de um volume exterior úmido, porém não saturado (Philip, 1985; Elrick *et al.*, 1989), como pode ser observado na figura 9.

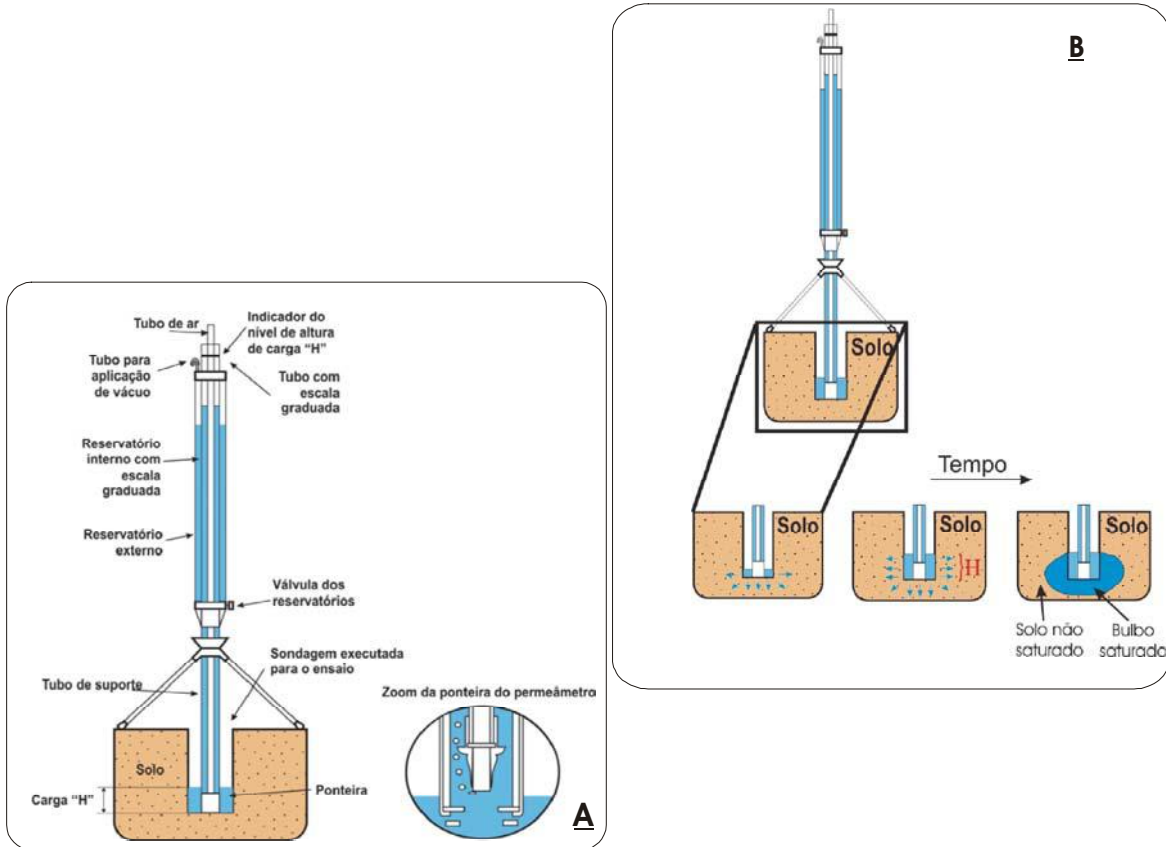


Figura 9 – (A) Esquema do permeômetro Guelph (Soto, 1999 *apud* Bielschowsky, 2005). (B) Obtenção do fluxo em regime permanente (Soto, 1999 *apud* Bielschowsky, 2005).

O Permeômetro de Guelph é um ensaio pontual de carga constante  $H$  em um furo cilíndrico de raio  $a$ , em que a determinação da vazão  $Q$  é feita medindo-se a queda do nível de água ( $h$ ) que passa pelo tubo graduado de seção  $A$  em intervalos de tempo constante  $t$  até que seja atingido o regime permanente (Guimarães, 2001).

O cálculo da condutividade hidráulica saturada de campo para meios heterogêneos e com grandes vazios, de acordo com Elrick *et al.* (1989), pode ser realizado através da seguinte equação:

$$K_{fs} = \frac{CQ_s}{[2\pi H^2 + C\pi a^2 + (2\pi H/\alpha^*)]} \quad (4)$$

onde:  $K_{fs}$  = condutividade hidráulica saturada de campo (L / T)

$Q_s$  = vazão constante ( $L^3 / T$ )

$H$  = carga fixa de água na sondagem (L)

$a$  = raio da sondagem (L)

$C$  = parâmetro de dimensão proporcional dependente da razão  $H / a$ , representado no gráfico da figura 10.

$\alpha^*$  = o valor deste parâmetro é obtido por uma estimativa visual da caracterização do material da área em uma das 4 categorias de média de poros como demonstrado na tabela 3.

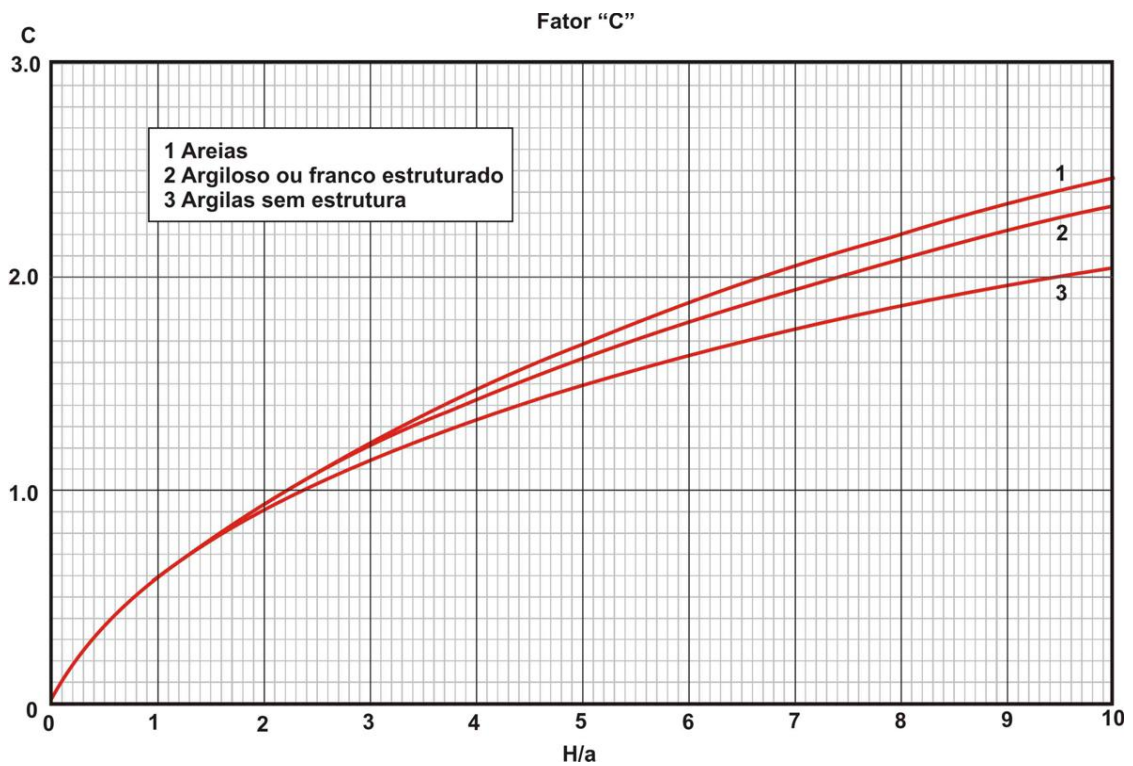


Figura 10 – Variação do parâmetro  $C$  com relação à carga aplicada ( $H$ ) e o raio da sondagem ( $a$ ) (soilmoisture Equipment Corp., 1986 *apud* Bielschowsky, 2005).

Tabela 3 – Relação de solos com  $\alpha^*$  (Elrick et al., 1989).

Característica do meio poroso	Valor do parâmetro $\alpha^*$ correspondente [cm <sup>-1</sup> ]
Materiais argilosos compactados e estruturados	0,01
Solos com textura fina (argiloso) e sem estrutura	0,04
Solos estruturados argilosos e siltosos e também areias finas e solos razoavelmente estruturados	0,12
Areias grossas e cascalhos. Podem ser incluídos solos altamente estruturados com grandes fraturas e macroporos	0,36

#### 4.2.2 Permeâmetro de laboratório

Para estimar a condutividade hidráulica em laboratório, utilizou-se o permeâmetro de carga do Laboratório de Hidrogeologia do Departamento de Geologia da UFRJ. Este permeâmetro permite dois tipos de ensaios, conhecidos como ensaio de carga constante e de carga variável (Figura 11).

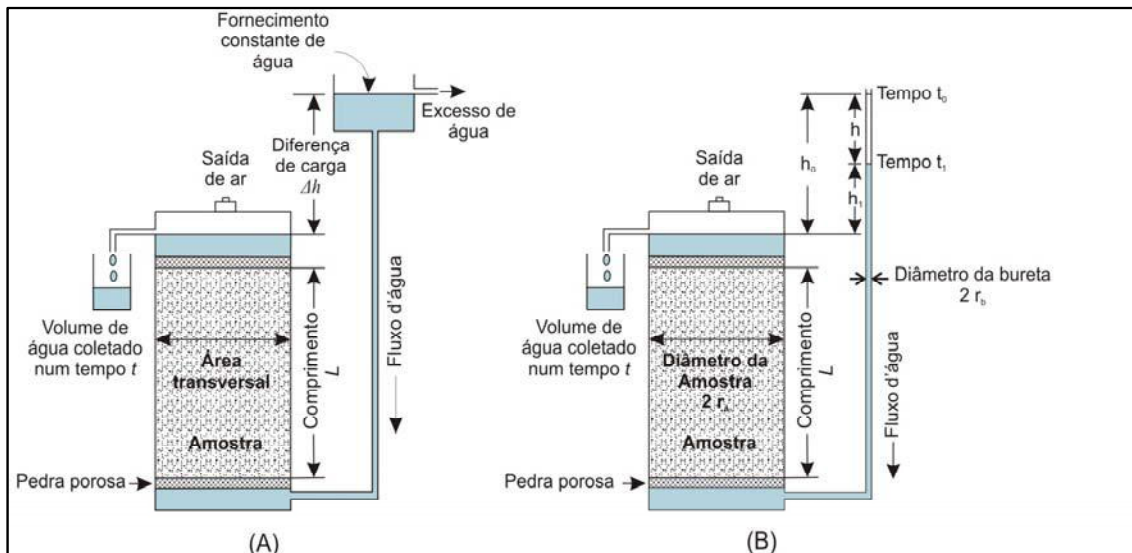


Figura 11 – Esquema de um permeâmetro: (A) de carga constante e (B) de carga variável (adaptado de Kresic, 1997 *apud* Salgueiro, 2005).

O permeâmetro de carga variável é indicado para a medição da condutividade hidráulica de solos com permeabilidades intermediárias a baixas, como silte e argila; o ensaio de carga constante é mais usado em solos arenosos.

A coleta de amostra no campo deve ser realizada sob condições controladas, com amostra semideformada, que pode ser submetida a ensaios de carga constante ou variável. Em ambos os casos, a amostra é coletada em um cilindro de comprimento  $L$  e área transversal  $A$  (Figura 12), e fechada entre duas placas porosas (Aguilar, 2001).

Para a coleta de amostra semideformada, devem-se seguir algumas regras:

1. retirá-la com trado amostrador ou com o auxílio de uma tábua para permitir o encaixe da amostra de maneira homogênea. Neste caso, não se deve enroscar o cilindro e nem causar grandes perturbações;
2. retirada a amostra, deve-se envolvê-la em filme PVC ou papel alumínio e, em seguida, colocá-la em um isopor, de modo que sua umidade seja mantida inalterada;
3. no laboratório, deve-se envolver uma de suas faces em morim, para evitar perda da amostra, e posteriormente colocá-la para saturar em uma bandeja, com água a  $2/3$  da altura do cilindro.

Para a realização destes ensaios, as amostra semideformadas foram coletadas sob condições controladas citadas acima, mas mesmo assim essas amostras podem apresentar perturbações. Para este estudo, as amostras semideformadas foram coletadas ao lado das sondagens realizadas para os ensaios com o permeâmetro de Guelph (Figura 13), com a finalidade de obter a condutividade hidráulica de laboratório e compará-las. Foram coletadas 11 amostras verticais para obter-se a condutividade hidráulica vertical e 4 amostras horizontais para a determinação da condutividade hidráulica horizontal. A localização dos pontos amostrados pode ser observada na figura 6.





Figura 12 – Coleta de amostra semideformada, em destaque o corpo de prova sendo coletado em um cilindro com 5 cm de comprimento e 20,4 cm<sup>2</sup> de área transversal.

No ensaio de permeabilidade de carga constante, o corpo de prova, convenientemente colocado no permeômetro, é submetido a uma carga constante  $h$  até que o fluxo de saída  $Q$  se torne constante (Aguiar, 2001; Pinto, 2002). A água percolada é colhida em uma proveta graduada e o seu volume é medido.

Conhecidas a vazão  $Q$  e as características geométricas do corpo de prova, calcula-se a permeabilidade através da equação:

$$K = \frac{QL}{Ah} \quad \text{ou} \quad K = \frac{VL}{Aht} \quad (5)$$

onde:  $K$  = coeficiente de permeabilidade (cm/s)

$V$  = volume de água percolada (cm<sup>3</sup>)

$L$  = altura do corpo de prova (cm)

$t$  = tempo decorrido (s)

$h$  = carga hidráulica (cm)

$A$  = área do corpo de prova (cm<sup>2</sup>). O cilindro utilizado possui 20,4 cm<sup>2</sup> de área.

Quando o coeficiente de permeabilidade é muito baixo, a determinação pelo permeâmetro de carga constante é pouco precisa. Por este motivo, o permeâmetro de carga variável é considerado mais vantajoso que o anterior, sendo preferencialmente usado para sedimentos finos (Pinto, 2002).



Figura 13 - Amostra semideformada coletada ao lado da sondagem realizada para o ensaio de Guelph.

Segundo Aguiar (2001), o permeâmetro de carga variável utiliza-se da diferença entre as cargas em um determinado intervalo de tempo. Nesse ensaio, a vazão ( $Q$ ) é medida em uma bureta graduada de seção  $a$ , verificando-se o tempo ( $t$ ) que a água leva para baixar de uma altura inicial ( $h_0$ ) até uma altura final ( $h_f$ ). A equação para o cálculo de condutividade hidráulica para este ensaio é a seguinte:

$$K = 2,3 \frac{aL}{At} \log \frac{h_0}{h_f} \quad (6)$$

Onde:  $a$  = área da bureta ( $\text{cm}^2$ )

$h_0$  e  $h_f$  = carga hidráulica (cm)

$t$  = intervalo de tempo entre a ocorrência das cargas (s)

$L$  = altura do corpo de prova (cm)

$A$  = área do corpo de prova ( $\text{cm}^2$ ). A amostra utilizada possui  $20,4 \text{ cm}^2$  de área.

Nesta pesquisa optou-se pelo ensaio de carga variável, devido a grande concentração de sedimentos finos existente nos depósitos fluviais estudados.

#### 4.2.3. Análise granulométrica

Além desses ensaios, a condutividade hidráulica também foi determinada por meio da curva granulométrica dos sedimentos paleogênicos da bacia de Volta Redonda, através do método de Hazen (1911 *apud* Fetter, 1994).

As análises granulométricas foram baseadas na Norma Técnica de Folk (1980) e realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Setor de Paleontologia e Estratigrafia do Departamento de Geologia da UFRJ. Como foram executadas sondagens para os ensaios de Guelph, foi possível dispor de amostras de cada litofácies do afloramento analisado.

O método de Hazen é aplicado a areias que contenham o  $d_{10}$  variando de 0,1 a 3,0 mm e a fórmula que se aplica a este método é:

$$K = C(d_{10})^2 \quad (7)$$

Onde:  $K$  = condutividade hidráulica [ L/ T ]

$d_{10}$  = diâmetro efetivo [ L ]

$C$  = é um coeficiente baseado na tabela 4.

Uma restrição que se impõe para a utilização dessa fórmula é a de que o coeficiente de não uniformidade (CNU) seja menor que 5 (Fetter, 1994).

Foram construídos histogramas para apresentar a frequência granulométrica dos sedimentos e determinar a classe mais abundante da amostra, conhecida como classe modal. O histograma é uma ferramenta estatística usado para representar frequências de distribuição, estes diagramas esclarecem com rapidez as diferenças e semelhanças entre as amostras, facilitando a compreensão destas (Suguio, 1973). Para este propósito os resultados das



análises foram compilados em tabelas de frequência, que mostram os intervalos de classes em mm e a porcentagem do peso total de cada classe.

Tabela 4 - Valor do coeficiente C de acordo com o material (Fetter, 1994).

MATERIAL	C
Areia muito fina, pobremente selecionada	40-80
Areia fina argilosa ou siltosa	40-80
Areia média, bem selecionada	80-120
Areia grossa, pobremente selecionada	80-120
Areia grossa, bem sortida, limpa	120-150

## 5 RESULTADOS

### 5.2 Ensaio Granulométricos

As características granulométricas revelaram que a maioria das litofácies são arenosas, apresentando elevado teor de sedimentos finos, variando de 8% a 25%, com exceção das amostras 5 e 10, sendo que a primeira é basicamente conglomerática e a última é predominantemente composta por sedimentos finos, apresentando 65% de argila. O afloramento estudado está exposto à erosão, conseqüentemente o feldspato (mineral abundante na área) apresenta alteração, esse pode ser o motivo do teor elevado de argila. Mas, em subsuperfície, este fato provavelmente não ocorrer, por não estar exposto diretamente aos efeitos intempéricos.

Os histogramas (Anexo A) foram construídos para melhor representação das análises granulométricas e serviram para determinar a classe mais abundante de cada amostra,

conhecida como classe modal (Tabela 5), além de facilitar a compreensão da condutividade hidráulica encontrada em cada litofácies.

O método de Hazen não pôde ser aplicado neste estudo para estimar a condutividade hidráulica, pois através das curvas granulométricas (Anexo A) foi possível verificar que nenhuma amostra possui diâmetro efetivo dos grãos ( $d_{10}$ ) entre 0,1 e 3,0 mm.

Tabela 5 - Resultados da classe modal, mediana, seleção e diâmetro efetivo referente a cada litofácies.

AMOSTRA	CLASSE MODAL	SELEÇÃO	DIÂMETRO EFETIVO ( $d_{10}$ )
1	AM	Mal selecionado	0,0017
2	AF-AM	Mal selecionado	0,006
3	AG	Mal selecionado	0,001
4	AM-AF	Mal selecionado	< 0,001
5	Gr	Bem selecionado	0,002
6	AM-AG	Mal selecionado	< 0,001
7	AG-AM-Arg	Mal selecionado	< 0,001
8	AG-Arg	Mal selecionado	< 0,001
9	Arg	Moderadamente selecionado	< 0,001
10	Arg	Muito bem selecionado	< 0,001
11	AG	Moderadamente selecionado	< 0,001
12	AG-AM	Mal selecionado	< 0,001

### 5.3 Ensaio de condutividade hidráulica obtidos *in situ* e em laboratório

A tabela 6 apresenta a comparação entre os resultados obtidos pelo Guelph e em laboratório (amostras verticais e horizontais).

Os valores de permeabilidade medidos em laboratório apresentaram de maneira geral, uma ordem de magnitude menor que os determinados *in situ* (Permeômetro de Guelph), conforme o esperado. Entretanto, alguns pontos obtiveram valores *in situ* próximos aos determinados em laboratório, ora na amostra vertical (ex.: ponto 2), ora na amostra horizontal (ex.: 3): nos pontos 3, 8 e 11, a condutividade hidráulica determinada em laboratório, através das amostras verticais, apresentou-se inclusive maior do que a obtida *in situ*. Isso pode estar

associado ao efeito de impermeabilização da parede do furo durante a tradagem, intensificada pelos elevados teores de argila (variando de 12% a 19% aproximadamente) verificados nas três amostras.

No ponto 10, a condutividade hidráulica *in situ* ( $10^{-5}$  cm/s) apresentou-se duas ordens de magnitude maior que a obtida em laboratório ( $10^{-7}$  cm/s). Este resultado pode ser explicado pela quantidade de descontinuidades encontradas nesta litofácies Pl em campo.

Os valores da condutividade hidráulica saturada em laboratório podem ter sido subestimados em função da amostragem pouco representativa que pode conter uma porcentagem menor de macro e microporos conectados do que o solo dentro do contexto geral.

Os ensaios de condutividade hidráulica utilizando o permeâmetro de laboratório com amostras horizontais apresentaram de maneira geral duas ordens de magnitude menor que os ensaios realizados com amostras verticais. Não foi possível chegar a uma conclusão sobre este resultado, devido ao pouco número de amostras horizontais coletadas.

### 5.3.1 Relações entre a condutividade hidráulica e as fácies sedimentares

A tabela 6 apresenta os resultados calculados de condutividade hidráulica comparados às propriedades físicas para cada fácies sedimentar.

*Fácies Alm*: composta por areia média a fina, sua condutividade hidráulica variou entre  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s, podendo se considerada moderada a baixa.

*Fácies Am<sub>1</sub>*: de acordo com a análise granulométrica, esta fácies é formada por areia fina a média, apresentando elevado teor de sedimentos finos (aproximadamente 16%). Provavelmente esta argila é proveniente da alteração do feldspato. Segundo Marques (2006), ocorre rara porosidade intergranular sendo preenchida pela matriz argilosa. Isso explica os

valores de permeabilidade encontrados variando de  $10^{-4}$  a  $10^{-8}$  cm/s, sendo considerada moderada a baixa.

*Fácies Ac:* constituída principalmente por areia média a muito grossa com matriz argilosa. A condutividade hidráulica desta fácies variou de  $10^{-6}$  a  $10^{-3}$  cm/s, e os baixos valores podem ser explicados pela presença da matriz argilosa; os valores elevados devido a elevada porosidade e conectividade alta a moderada entre os poros existentes em alguns pontos do afloramento.

*Fácies Cch:* de acordo com o histograma, esta litofácies é composta essencialmente por grânulos. Esta fácies apresentou condutividade hidráulica em torno de  $7,95 \times 10^{-4}$  cm/s, valor menor do que o esperado. Isto pode ser explicado pela presença de sedimentos finos preenchendo os espaços vazios deixados pelos maiores.

*Fácies Am<sub>2</sub>:* apresenta condutividade hidráulica baixa a moderada, variando de  $10^{-5}$  a  $10^{-3}$  cm/s. Esses valores podem ser explicados pela granulometria desta fácies que é composta por areia grossa a muito grossa, apresentando pouca matriz argilosa, e segundo Marques (2006) essa fácies possui porosidade elevada e conectividade moderada entre os poros.

*Fácies Al:* esse depósito apresentou condutividade hidráulica moderada a muito baixa, variando de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  cm/s. Esses valores apresentam-se coerentes com o material que compõe esta fácies, formada basicamente por areia média a fina, apresentando matriz argilosa.

*Fácies Pl:* composta basicamente por silte e argila. Através do observado na literatura consultada, este material deveria apresentar condutividade hidráulica extremamente baixa, mas a permeabilidade encontrada variou de  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  cm/s, sendo considerá-la baixa a muito baixa. O valor  $10^{-5}$  cm/s estimado no ensaio de Guelph, pode ser considerado elevado para este material, o que pode ser explicado pela quantidade de descontinuidades existentes nessa unidade.

Com base nas propriedades granulométricas e nos resultados de condutividade hidráulica, estimaram-se as possíveis hidrofácies existentes nos sedimentos paleogênicos da bacia de Volta Redonda (Figura 14).

Tabela 6 – Resultados calculados da condutividade hidráulica através de ensaios de Guelph e de laboratório relacionados às propriedades físicas.

AMOSTRAS	LITOFÁCIES	MODA	SELEÇÃO	PERMEABILIDADE DE GUELPH	PERMEABILIDADE DE LABORATÓRIO	
					VERTICAL (cm/s)	HORIZONTAL (cm/s)
1	Alm	AM	Mal selecionado	$1,64 \times 10^{-4}$	$1,44 \times 10^{-5}$	
2	Am1	AF-AM	Mal selecionado	$2,76 \times 10^{-4}$	$1,63 \times 10^{-4}$	$1,43 \times 10^{-8}$
3	Ac	AG	Mal selecionado	$7,34 \times 10^{-4}$	$1,75 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-4}$
4	Ac	AM-AF	Mal selecionado	$2,06 \times 10^{-4}$	$1,89 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-6}$
5	Cch	Gr	Bem selecionado	$7,95 \times 10^{-4}$	-----	-----
6	Ac	AM-AG	Mal selecionado	$1 \times 10^{-3}$	$2,45 \times 10^{-4}$	-----
7	Am2	AG-AM-Arg	Mal selecionado	$9,26 \times 10^{-4}$	$2,91 \times 10^{-5}$	-----
8	Am2	AG-Arg	Mal selecionado	$4,23 \times 10^{-4}$	$1,30 \times 10^{-3}$	-----
9	Al	Arg	Moderadamente selecionado	$3,81 \times 10^{-4}$	$4,65 \times 10^{-5}$	$3,40 \times 10^{-6}$
10	Pl	Arg	Muito bem selecionado	$5,4 \times 10^{-5}$	$2,27 \times 10^{-7}$	-----
11	Ac	AG	Moderadamente selecionado	$9,05 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-3}$	-----
12	Am2	AG-AM	Mal selecionado	$3,33 \times 10^{-3}$	-----	-----

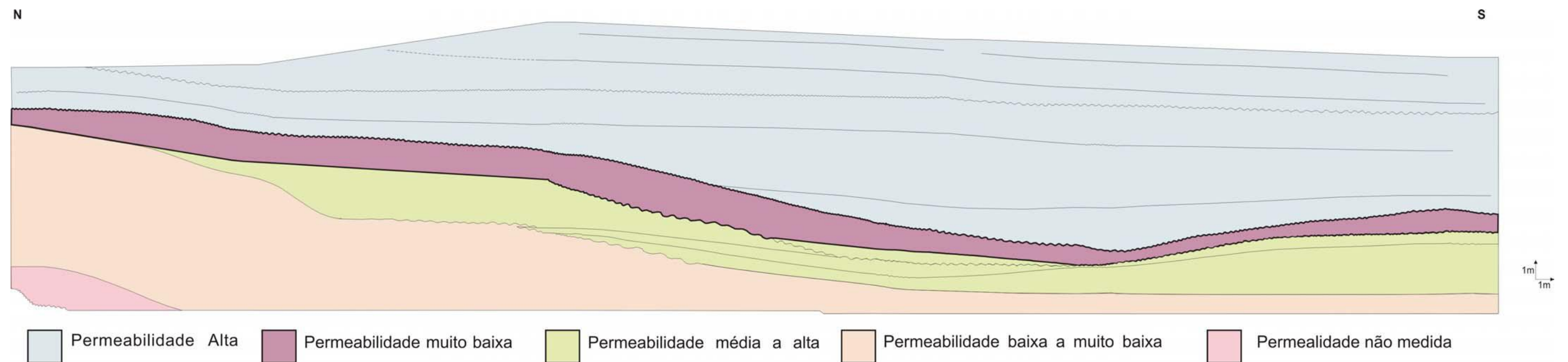


Figura 14: Estimativa das possíveis hidrofácies dos sedimentos fluviais paleogênicos da Bacia de Volta Redonda.

## 6 CONCLUSÕES

Os ensaios de determinação da condutividade hidráulica apresentaram resultados satisfatórios e coerentes com as características do material que compõe as fácies sedimentares da área analisada. Não foi possível, contudo, realizar estimativas pelo método de Hazen, devido à baixa granulometria do material.

As análises granulométricas conseguiram explicar a variação da condutividade hidráulica entre as fácies estudadas, além da descrição microscópica realizada por Marques (2006), que foi de fundamental importância para o entendimento da porosidade e da conectividade dos poros.

A Formação Pinheiral apresenta uma camada considerada de muito baixa permeabilidade, variando de  $10^{-7}$  a  $10^{-5}$  cm/s, mas sua base apresentou valores moderados a altos ( $10^{-4}$  a  $10^{-3}$  cm/s). O topo da formação obteve o maior valor de condutividade hidráulica, em torno de  $10^{-3}$  cm/s. Esta formação apresenta boas características para reservatório e deve-se levar em consideração a alta permeabilidade existente no topo da formação que funciona como meio de recarga do aquífero. Já a Formação Resende apresentou valores de condutividade hidráulica moderados a muito baixos, podendo considerá-la um reservatório pobre.

A partir dos resultados de condutividade hidráulica obtidos para as Formações Resende e Pinheiral, que variaram de  $10^{-8}$  a  $10^{-3}$  cm/s, pode-se concluir que os sedimentos paleogênicos que formam o afloramento analisado são aquíferos em geral pobres, com pequeno potencial hídrico, mormente considerando-se sua reduzida espessura. A exploração, particularmente em conjunto com o aquífero fraturado, pode apresentar localmente um bom prospecto.

Os resultados da condutividade hidráulica desta pesquisa foram obtidos em exposições aflorantes, esses resultados devem ser considerados como uma estimativa do que ocorre na

subsuperfície, uma vez que esta não deve apresentar alterações em seus materiais. Para obtermos resultados de permeabilidade da subsuperfície, recomenda-se a realização de ensaios do tipo *slug-test* nos poços encontrados próximos a área de estudo.

Recomenda-se a realização de estudos sobre hidrofácies, com a finalidade de caracterizar hidrogeologicamente os materiais sedimentares que compõem a Bacia de Volta Redonda, de modo a avançar no conhecimento do comportamento destas rochas como aquíferos.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, B.A. 2001. *O emprego do permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura*. Programa de Pós-graduação da COPPE em Engenharia Civil COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, XVII, 90 p.
- Almeida, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48: 15-26.
- Amador, E.S. & Castro, M.I.B. 1976. Depósitos neocenozóicos da bacia de Volta Redonda, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. *Anais*, Ouro Preto, Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p.307-327.
- Bettini, C. (Coord). 2004. *Modelagem estratigráfica de reservatórios terrígenos: aplicação à avaliação do potencial hídrico da bacia de Resende (RJ)*. Relatório, UFRJ / CPRM / ON, Rio de Janeiro, 266 p.
- Bielschowsky, C. 2005. *Aplicação e comparação de métodos de campo para estimativa da condutividade hidráulica do solo*. Programa de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia, 82p.
- Bocanegra, E.; Silva Jr., G.C. 2007. Groundwater exploitation of fractured rocks in South America. In: JACK SHARP; JIRI KRASNY. (Org.). *SP IAH Selected Paper Series*. 1 ed. Londres: Taylor & Francis, v. SP8, p. 120-132.



- Cabral, J. 1997. Movimento das águas subterrâneas. *In: FEITOSA, C.A.F. & Filho, M.J.(ed.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. CPRM, p.35-52.
- Cappuci, B.E.; Martins, M.A.; Mansur, L.K. & Monsoreo M.L.A, 2003. *Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas*. Niterói, Departamento de Recursos Minerais do Governo do Estado do Rio de Janeiro. 70p.
- Castro, F.G. ; Silva Jr., G.C. ; Pizani, T.C.; Silva, D.B. 2000. Caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica preliminar da bacia sedimentar de Resende - RJ. *In: I CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2000, Fortaleza - CE. Anais do I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. v. 1. p. 1-20.*
- Ezzy, T.R.; Cox, M.E; Rourke, A.J. & Huftile, G.J. 2006. Groundwater flow modeling within a coastal alluvial plain setting using a high-resolution hydrofacies approach; Bells Creek plain, Australia. *Hydrogeology Journal, 14: 675-688.*
- Elrick, D. E.; Reynolds, W. D. & Tan, K. A. 1989. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. *Groundwater Monitoring Review, v. 9, p. 184-193.*
- Fetter, C.W. 1994. *Applied hydrogeology*. New Jersey, Prentice Hall. 691p.
- Folk, R.L. 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Texas, Hemphill. 170 p.
- Guimarães, B.S.M. 2001. *Condutividade hidráulica saturada: comparação entre dois métodos e a influência das propriedades físicas do solo*. Programa de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia, 63p.
- Heilbron, M.; Valeriano, M.C.; Valladares, S.C. & Machado, N. 1995. A orogênese Brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências, 25 (4): 249–266.*
- Heilbron. M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; Silva, L.C.; Trouw, R.A.J. & Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. *In: Mantesso-Neto, v.; Bartorelli, A.; Dal Ré Carneiro, C. & Brito Neves, b.b. (orgs.) Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, p. 203-235.*
- Marques, S.C.C. 2006. Análise multiescalar de atributos sedimentares em depósitos fluviais paleogênicos na bacia de Volta Redonda, RJ. Programa de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia, 37p.
- Mello, V.E.; Peixoto, O.N.M.; Silva M.T.; Moura S.R.J. 2006. Evolução da rede de drenagem e transformações tecnogênicas nos canais fluviais em Volta Redonda (RJ), médio vale do

- rio Paraíba do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de mestrado.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Campanha, G.A.C.; Mioto, J.A. ; Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Ponçano, W.L. & Gimenez, A.F. 1983. Estudos geológico-tectônicos na Bacia de Resende (RJ) e sedimentos terciários de Volta Redonda (RJ) e Bacia de Taubaté (área de Cruzeiro-SP). Relatório 17.737, IPT, São Paulo, 124 p.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Hasui, Y.; Almeida, F.F.M. & Coimbra, A.M. 1985. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 15 (3): 193-201.
- Melo, M.S.; Riccomini, C.; Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. 1985. Sedimentação e tectônica da bacia de Resende – RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 57 (4): 467-479.
- Miall, A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Sci. Review*, 22: 261-308.
- Oliva, A. 2006. Estudo hidrofaciológico do Aquífero Rio Claro no Município de Rio Claro – SP. Programa de Pós –graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 189p.
- Philip, J.R. 1985. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil. *Water Resources Research*, vol. 21, nº 7, p. 1025-1033.
- Pinto, S.C. 2002. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. São Paulo, Oficina de Textos. 355 p.
- Prefeitura de Volta Redonda. Disponível em [www.portalvr.com.br](http://www.portalvr.com.br). Acesso em 01 de dezembro de 2006.
- Reynolds, W.D. & Elrick, D.E. 1983. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturad hydraulic conductivity above the water table. *Soil Science*, v.136, 4: 250-268.
- Riccomini, C. 1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.
- Riccomini, C.; Coimbra, M.A.; Sant’Anna, G.L.; Neto, B.M. & Valarelli, V.J. 1996. Argilominerais do paleolago Tremembé e sistemas deposicionais relacionados

- (paleógeno, Rift Continental do Sudeste do Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, 26 (3): 167-180.
- Riccomini, C.; Melo, M.S.; Carneiro, C.D.R.; Almeida, F.F.M.; Miotto, J.A. & Hasui, Y. 1983. Sobre a ocorrência de um derrame de ankaramito na Bacia de Volta Redonda (RJ) e sua importância na datação das bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. In: *Simpósio Regional de Geologia*, 4, LOCAL, 1983. *Boletim de Resumos, Sociedade Brasileira de Geologia*, 1: 23-24.
- Riccomini, C.; Sant'Anna, L.G. & Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Dal Ré Carneiro, C. & Brito Neves, B.B. (orgs.) *Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 383-405.
- Salgueiro, S.R. 2005. Aplicação e avaliação de metodologias laboratoriais e empíricas para a determinação da condutividade hidráulica de sedimentos. Programa de Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia, xi, 68 p.
- Sanson, M.S.R. 2006. Sistemas Depositionais Aluviais e Tectônica Rúptil Cenozóica na Região de Volta Redonda (RJ) – Rift Continental do Sudeste do Brasil. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, xvi, 142 p.
- Suguio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher. 317 p.
- Trouw, R.A.J.; Heilbron, M.; Ribeiro, A.; Paciullo, F.V.P.; Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Tupinambá, M. & Andreis, R.R. 2000. The central segment of the Ribeira belt, In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D.A., *Tectonic Evolution of South America*, 854 p. 31st International Geological Congress, p. 287-310.
- Vieira, S. R. 1998. Permeâmetro: Novo aliado na avaliação de manejo do solo. *O Agrônomo*, 50: 32-33.

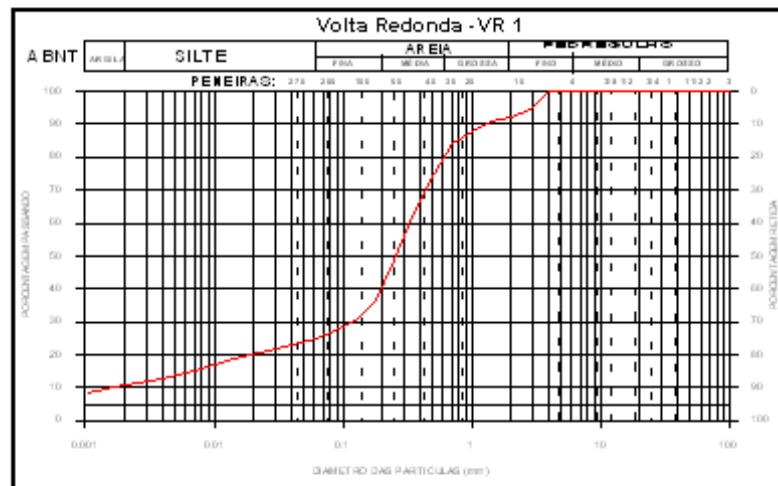
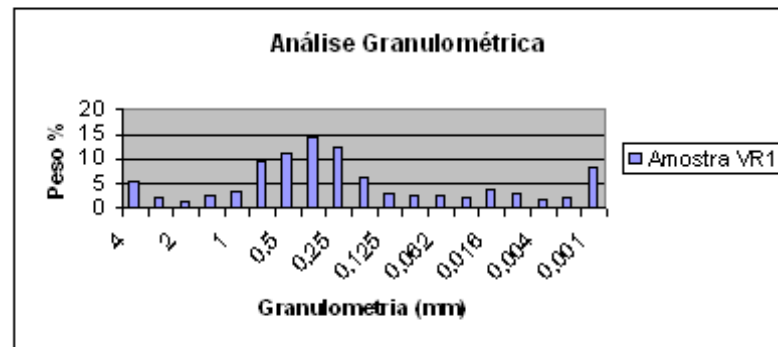
**Anexo A**  
**- Análises Granulométricas -**

### ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR1	Data	10/4/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
68,577	66,402

PENEIRAMENTO					
Grânulos		PN	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		2	3,733	5,622	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		1	1,527	2,3	94,378
2,83 mm a 2,00 mm			1,035	1,559	92,078
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	1,825	2,748	90,519
1,41 mm a 1,00 mm			2,341	3,525	87,771
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	6,195	9,33	84,246
0,71 mm a 0,50 mm			7,549	11,37	74,916
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	9,649	14,53	63,546
0,35 mm a 0,250 mm			8,174	12,31	49,016
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	4,198	6,322	36,706
0,177 mm a 0,125 mm		4	2,108	3,175	30,384
0,125 mm a 0,088 mm			1,669	2,513	27,209
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		1,749	2,634	24,696
Silte e Argilas					
0,062 mm a 0,031mm	a-b		1,6	2,41	22,062
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		2,7	4,066	19,652
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		2	3,012	15,586
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		1,25	1,882	12,574
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1,5	2,259	10,692
0,002mm a 0,001mm	f-g		5,6	8,433	8,433
< 0,001mm	g		0	0	0,000
Total			66,402	100	



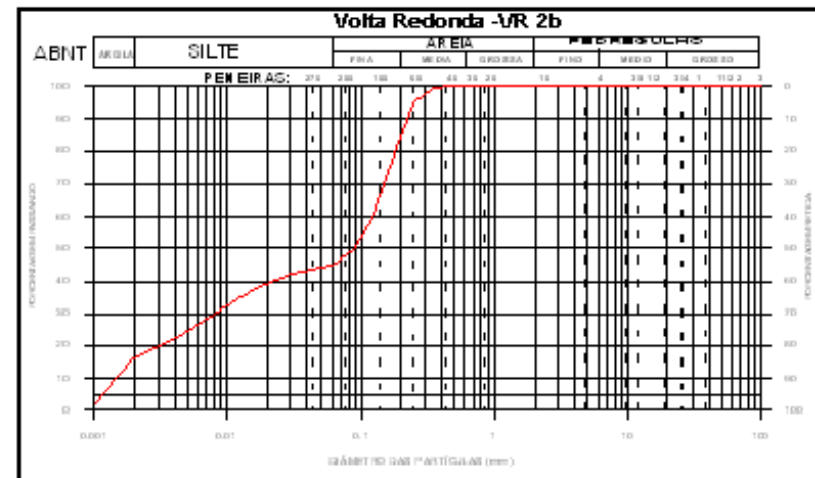
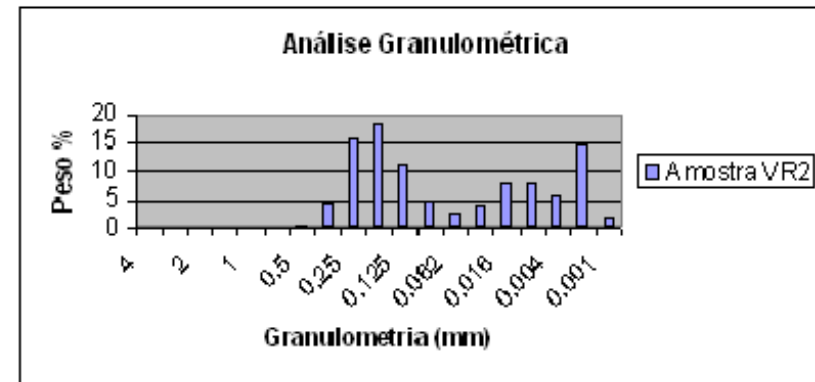
ANA CAROLINA LISBGA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR2b	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
42,971	40,844

PENEIRAMENTO					
Grânulos		PN	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	0	0	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	0	0	100,000
2,83 mm a 2,00 mm			0	0	100,000
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	0	0	100,000
1,41 mm a 1,00 mm			0	0	100,000
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	0,036	0,088	100,000
0,71 mm a 0,50 mm			0,248	0,607	99,912
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	1,856	4,544	99,305
0,35 mm a 0,250 mm			6,388	15,64	94,761
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	7,543	18,47	79,121
0,177 mm a 0,125 mm			4,548	11,14	60,653
0,125 mm a 0,088 mm			1,978	4,843	49,518
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		1,047	2,563	44,675
Siltes e Argilas					
0,062 mm a 0,031mm	a-b		1,75	4,285	42,111
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		3,25	7,957	37,827
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		3,2	7,835	29,870
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		2,3	5,631	22,039
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		5,9	14,45	16,404
0,002mm a 0,001mm	f-g		0,8	1,959	1,959
< 0,001mm	g		0	0	0,000
Total			40,844	100	



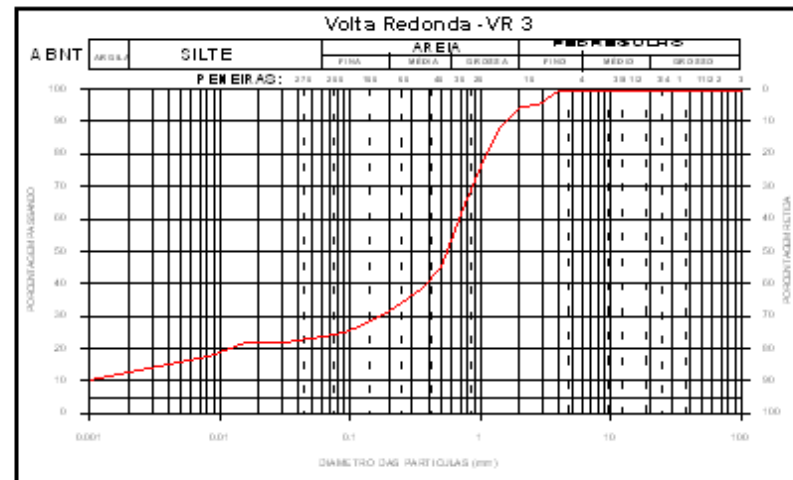
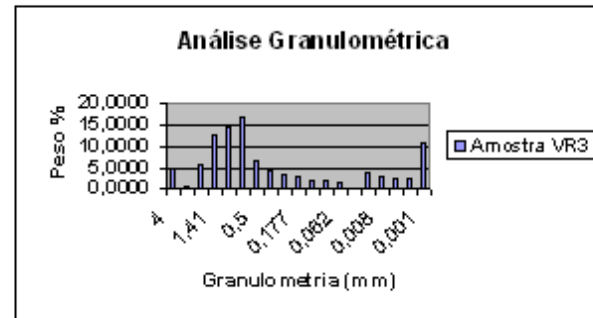
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR3	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
76,705	75,282

PENEIRAMENTO					
Grânulos		PI	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	3,45	4,583	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	0,48	0,638	95,417
2,83 mm a 2,00 mm			4,357	5,788	94,780
Arelas					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	9,389	12,47	88,992
1,41 mm a 1,00 mm			10,785	14,33	76,520
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	12,699	16,87	62,194
0,71 mm a 0,50 mm			5,012	6,658	45,326
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	3,237	4,3	38,668
0,35 mm a 0,250 mm			2,71	3,6	34,368
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	2,191	2,91	30,768
0,177 mm a 0,125 mm			1,614	2,144	27,858
0,125 mm a 0,088 mm			1,348	1,791	25,714
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		1,11	1,474	23,923
Silte e Argilas					
0,062 mm a 0,031 mm	a-b		0,25	0,332	22,449
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		2,8	3,719	22,117
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		2,15	2,856	18,397
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		1,7	2,258	15,542
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1,95	2,59	13,283
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		8,05	10,69	10,693
< 0,001 mm	g		0	0	0,000
Total			75,282	100	



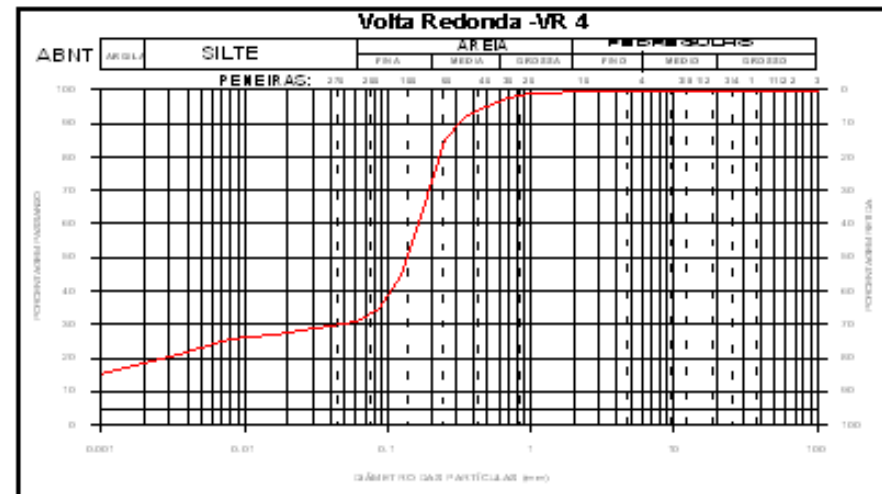
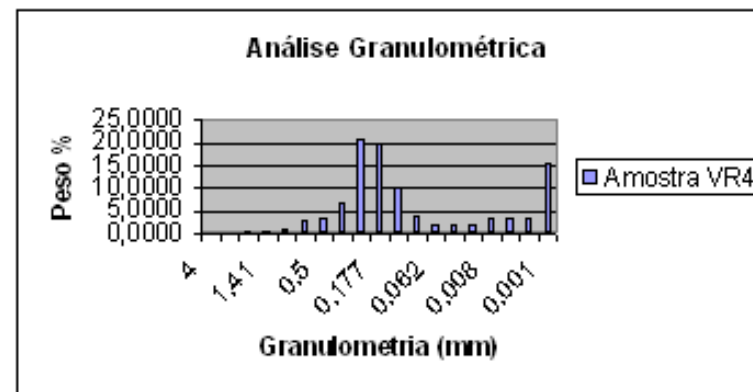
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR4	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
63,413	63,314

PENEIRAMENTO				
Grânulos		PN	Peso	% % acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	0	0
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	0,195	0,308
2,83 mm a 2,00 mm			0,231	0,365
Areias				
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	0,343	0,542
1,41 mm a 1,00 mm			0,541	0,854
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	1,848	2,919
0,71 mm a 0,50 mm			2,042	3,225
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	4,203	6,638
0,35 mm a 0,250 mm			13,063	20,63
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	12,682	20,03
0,177 mm a 0,125 mm		4	6,313	9,971
0,125 mm a 0,088 mm			2,437	3,849
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		1,066	1,684
Silte e Argilas				
0,062 mm a 0,031mm	a-b		1,1	1,737
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		1,15	1,816
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		2,2	3,475
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		2,05	3,238
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		2,1	3,317
0,002mm a 0,001mm	f-g		9,75	15,4
< 0,001mm	g		0	0
Total			63,314	100





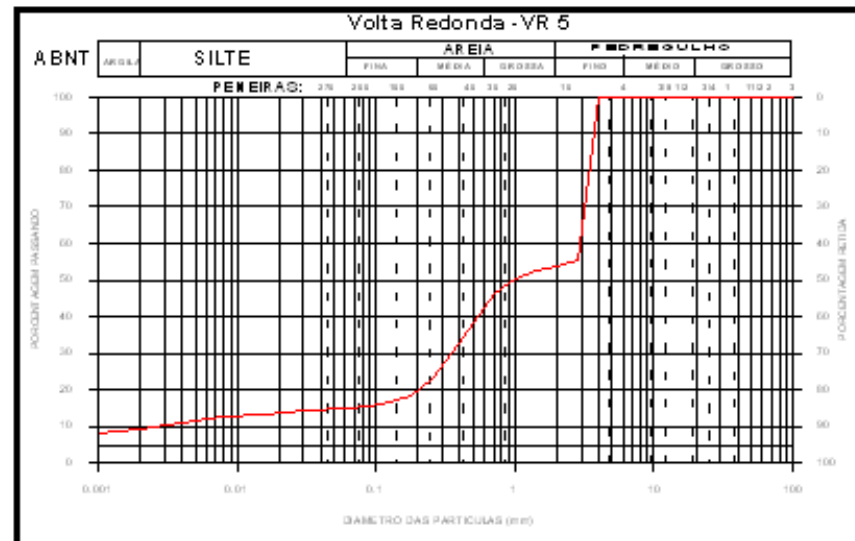
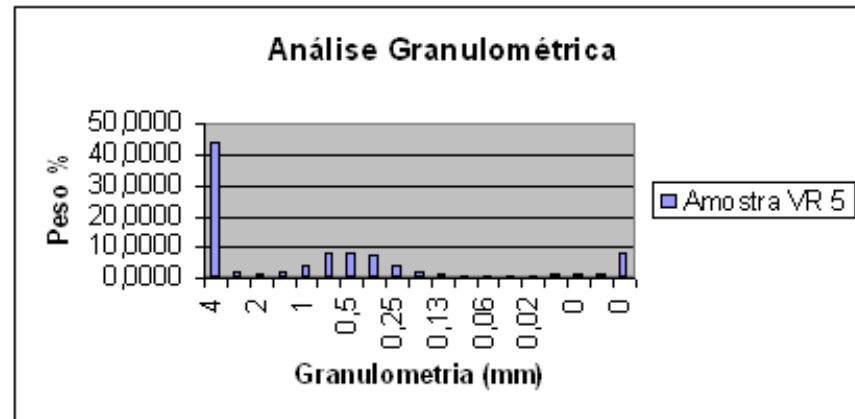
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR5	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
65,124	65,059

PENEIRAMENTO					
Grânulos		Phi	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	28,922	44,455	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	1,18	1,8137	55,545
2,83 mm a 2,00 mm			0,872	1,3403	53,731
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	1,363	2,095	52,391
1,41 mm a 1,00 mm			2,483	3,8165	50,296
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	5,435	8,354	46,479
0,71 mm a 0,50 mm			5,137	7,8959	38,125
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	4,823	7,4133	30,229
0,35 mm a 0,250 mm			2,734	4,2023	22,816
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	1,28	1,9674	18,614
0,177 mm a 0,125 mm		4	0,588	1,0575	16,546
0,125 mm a 0,088 mm			0,414	0,6363	15,589
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		0,378	0,581	14,953
Siltes e Argilas					
0,062 mm a 0,03 mm	a-b		0,8	0,9222	14,372
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		0,55	0,8454	13,449
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		1,05	1,6139	12,604
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		0,95	1,4602	10,990
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1,05	1,6139	9,530
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		5,15	7,9159	7,916
< 0,001 mm	g		0	0	0,000
Total			65,059	100	



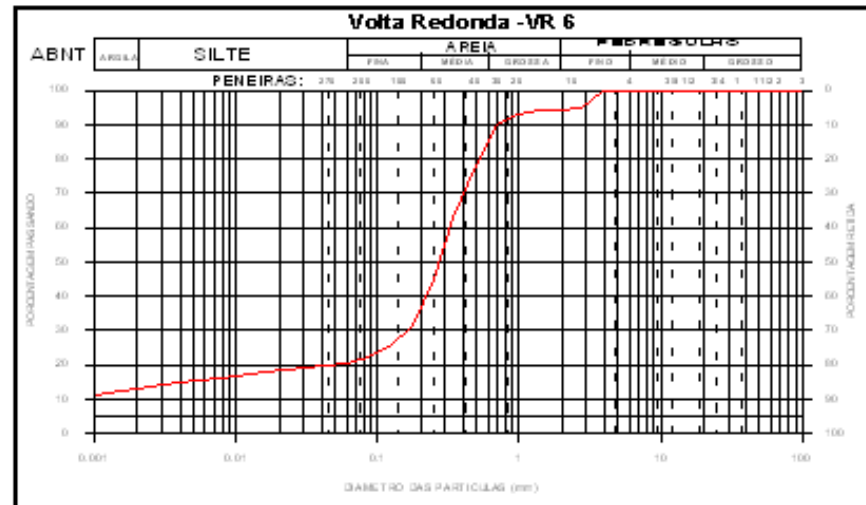
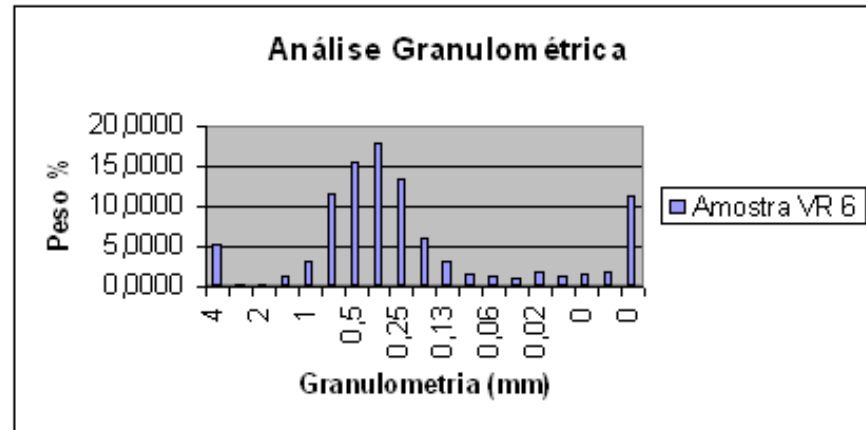
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR6	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
67,066	66,875

PENEIRAMENTO					
Grânulos		Phi	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	3,588	5,3652	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	0,15	0,2243	94,635
2,83 mm a 2,00 mm			0,187	0,2796	94,410
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	0,852	1,274	94,131
1,41 mm a 1,00 mm			2,039	3,049	92,857
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	7,694	11,505	89,808
0,71 mm a 0,50 mm			10,39	15,536	78,303
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	11,915	17,817	62,766
0,35 mm a 0,250 mm			8,947	13,379	44,990
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	4,141	6,1921	31,571
0,177 mm a 0,125 mm		4	2,038	3,0475	25,379
0,125 mm a 0,088 mm			1,118	1,6718	22,331
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		0,866	1,295	20,659
Siltes e Argilas					
0,062 mm a 0,03 mm		a-b	0,8	1,1963	19,364
0,031 mm a 0,016 mm		b-c	1,2	1,7944	18,168
0,016 mm a 0,008 mm		c-d	0,95	1,4206	16,374
0,008 mm a 0,004 mm		de	1,15	1,7196	14,953
0,004 mm a 0,002 mm		e-f	1,25	1,8692	13,234
0,002 mm a 0,001 mm		fg	7,6	11,364	11,364
< 0,001 mm		g	0	0	0,000
Total			66,875	100	



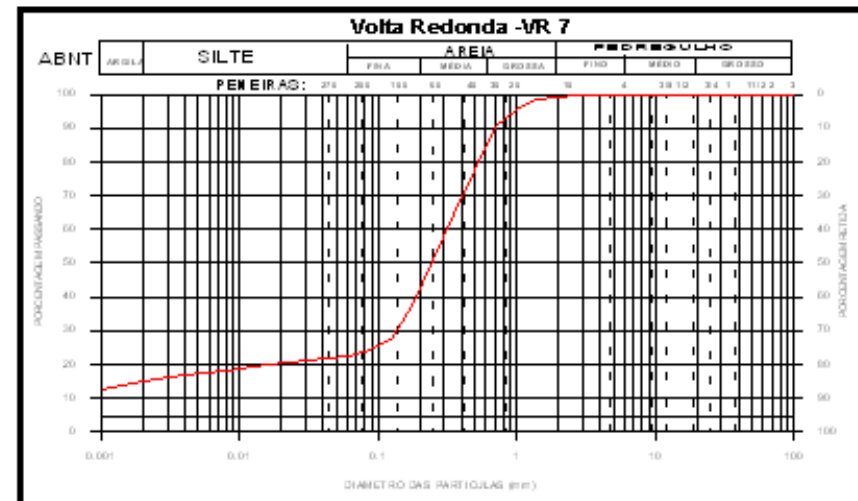
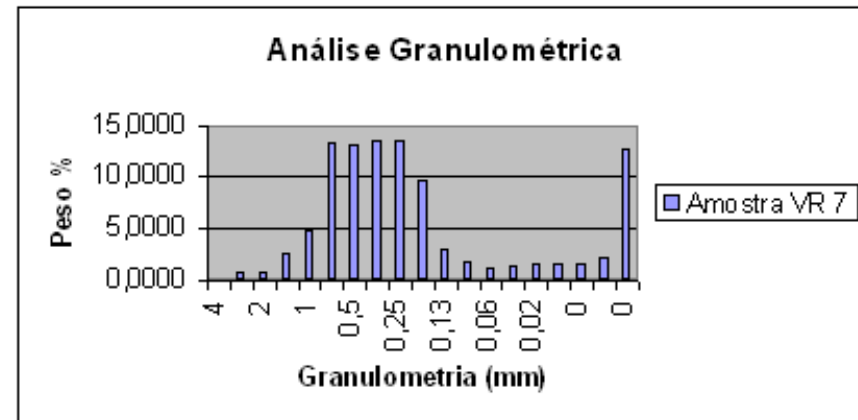
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR7	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
64,664	64,584

PENEIRAMENTO					
Grânulos		PNL	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		2	0	0	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		1	0,501	0,7757	100,000
2,83 mm a 2,00 mm			0,564	0,8733	99,224
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	1,698	2,6291	98,351
1,41 mm a 1,00 mm			3,152	4,8805	95,722
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	8,577	13,28	90,841
0,71 mm a 0,50 mm			8,535	13,215	77,561
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	8,676	13,434	64,346
0,35 mm a 0,250 mm			8,717	13,497	50,912
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	6,229	9,6448	37,415
0,177 mm a 0,125 mm		4	2,04	3,1587	27,770
0,125 mm a 0,088 mm			1,138	1,762	24,611
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		0,857	1,327	22,849
Siltes e Argilas					
0,062 mm a 0,03 mm	a-b		0,9	1,3935	21,522
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		1,05	1,6258	20,129
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		1,1	1,7032	18,503
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		1,1	1,7032	16,800
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1,5	2,3226	15,097
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		8,25	12,774	12,774
< 0,001 mm	g		0	0	0,000
Total			64,584	100	



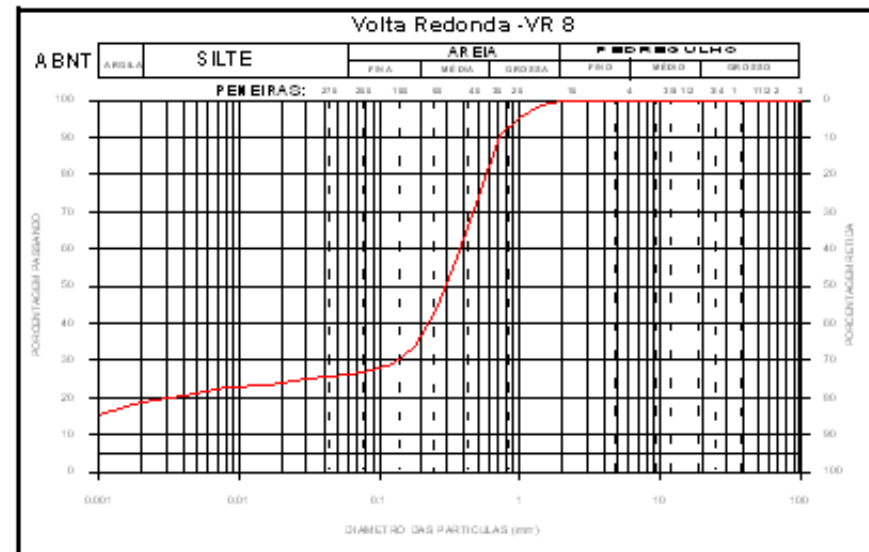
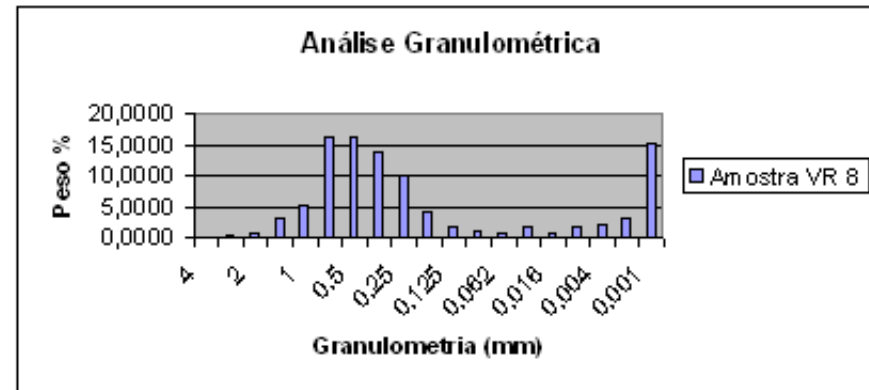
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR8	Data	6/10/2005
Local	Volta Redonda		

Eliminação da Matéria Orgânica			Peso
Peso Inicial	Peso sem M.O	Peso da M.O.	Peso Final
39,968	39,968	0	39,866

PENEIRAMENTO					
Grânulos		Phi	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	0	0	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	0,148	0,3712	100,000
2,83 mm a 2,00 mm			0,359	0,9005	99,629
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	1,284	3,2208	98,728
1,41 mm a 1,00 mm			2,063	5,1748	95,507
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	6,511	16,332	90,333
0,71 mm a 0,50 mm			6,527	16,372	74,000
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	5,542	13,902	57,628
0,35 mm a 0,250 mm			4	10,034	43,726
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	1,748	4,3847	33,693
0,177 mm a 0,125 mm			0,706	1,7709	29,308
0,125 mm a 0,088 mm			0,537	1,347	27,537
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		0,341	0,8554	26,190
Silte e Argilas					
0,062 mm a 0,03 mm	a-b		0,7	1,7559	25,335
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		0,35	0,8779	23,579
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		0,8	2,0067	22,701
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		0,85	2,1321	20,694
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1,25	3,1355	18,562
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		6,15	15,427	15,427
< 0,001 mm	g		0	0	0,000
Total			39,866	100	



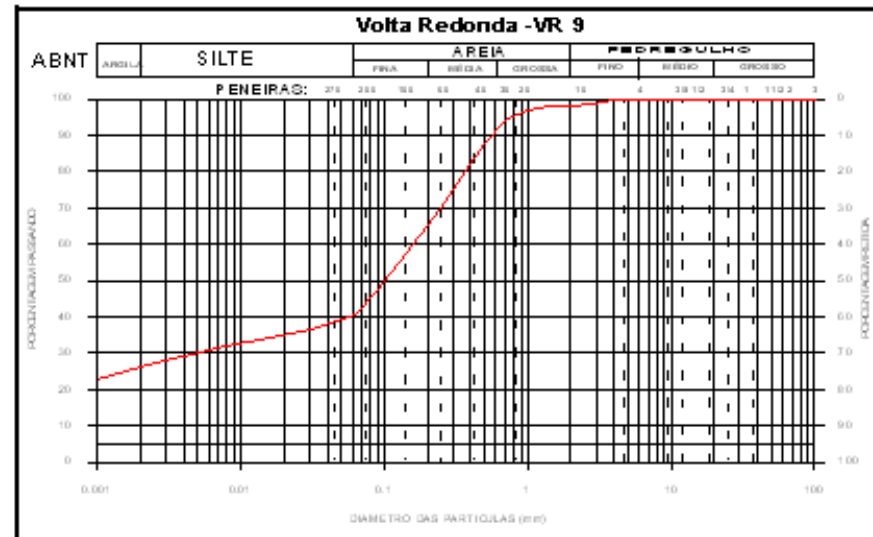
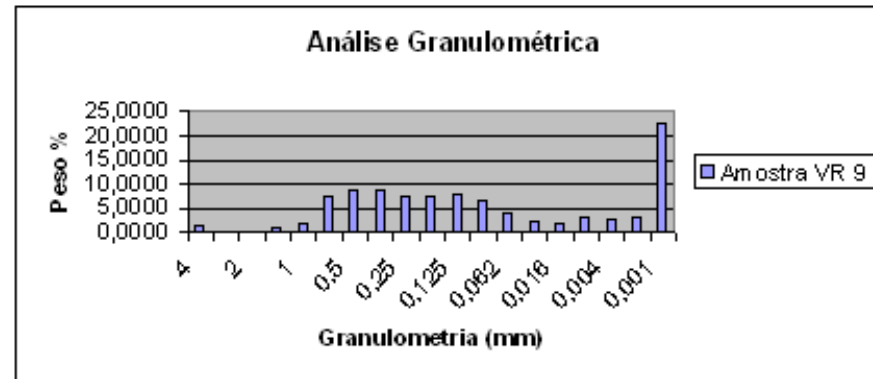
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR9	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
52,746	52,645

PENEIRAMENTO					
Grânulos		Phi	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		2	0,814	1,5462	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		1	0,103	0,1957	98,454
2,83 mm a 2,00 mm			0,188	0,3571	98,258
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	0,476	0,9042	97,901
1,41 mm a 1,00 mm			1,105	2,099	96,997
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	3,862	7,3359	94,898
0,71 mm a 0,50 mm			4,616	8,7682	87,562
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	4,528	8,601	78,794
0,35 mm a 0,250 mm			3,985	7,5696	70,193
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	4,053	7,6987	62,523
0,177 mm a 0,125 mm		4	4,106	7,7994	54,924
0,125 mm a 0,088 mm			3,393	6,4451	47,125
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		2,216	4,2093	40,680
Siltes e Argilas					
0,062 mm a 0,031 mm	a-b		1,25	2,3744	36,471
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		1	1,8995	34,096
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		1,7	3,2292	32,197
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		1,45	2,7543	28,968
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1,8	3,4191	26,213
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		12	22,794	22,794
< 0,001 mm	g		0	0	0,000
Total			52,645	100	



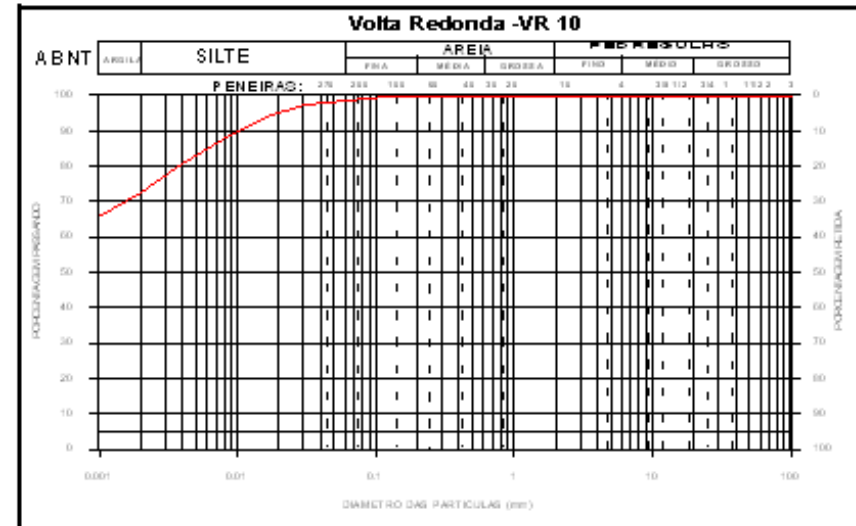
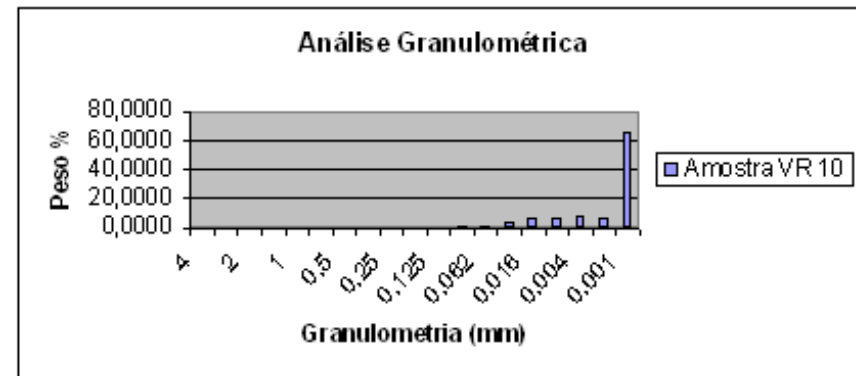
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR 10	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
44,488	42,789

PENEIRAMENTO					
Grânulos		Phi	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	0	0	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	0	0	100,000
2,83 mm a 2,00 mm			0,026	0,0608	100,000
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	0,034	0,0795	99,939
1,41 mm a 1,00 mm			0	0	99,860
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	0,01	0,0234	99,860
0,71 mm a 0,50 mm			0,014	0,0327	99,836
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	0,019	0,0444	99,804
0,35 mm a 0,250 mm			0,039	0,0911	99,759
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	0,071	0,1639	99,668
0,177 mm a 0,125 mm		4	0,152	0,3552	99,502
0,125 mm a 0,088 mm			0,303	0,7081	99,147
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		0,421	0,9839	98,439
Siltes e Argilas					
0,062 mm a 0,03 mm	a-b		1,6	3,7393	97,455
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		2,65	6,1932	93,716
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		2,9	6,7774	87,522
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		3,6	8,4134	80,745
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		2,9	6,7774	72,332
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		28,05	65,554	65,554
< 0,001 mm	g		0	0	0,000
Total			42,789	100	



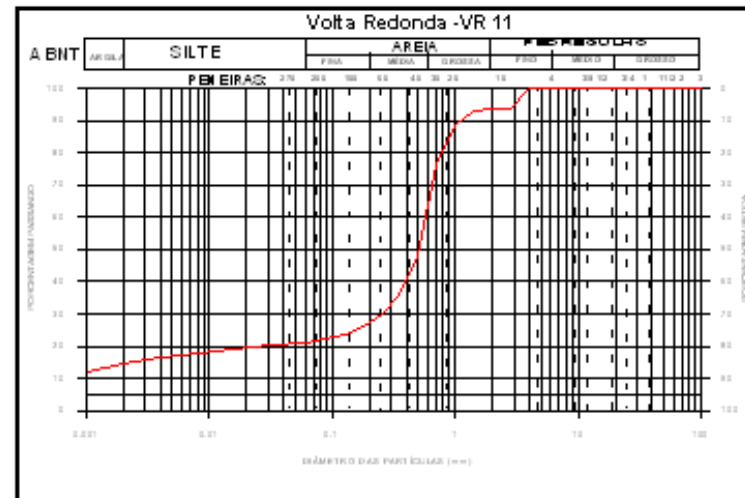
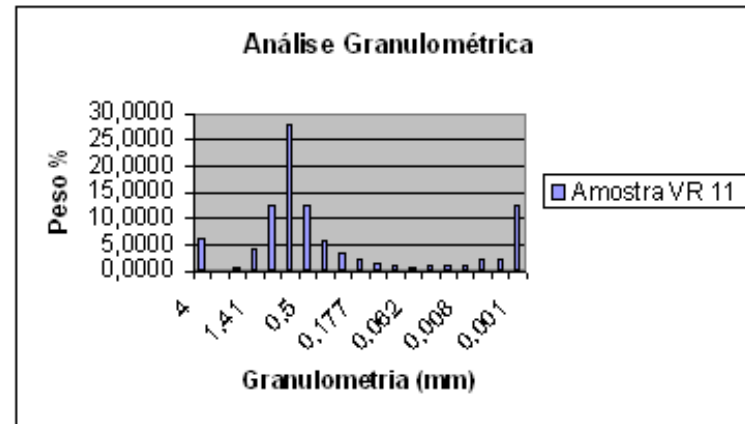
ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR11	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
42,464	42,451

PENEIRAMENTO					
Grânulos		Phi	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	2,581	6,08	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	0	0	93,920
2,83 mm a 2,00 mm			0,341	0,8033	93,920
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	1,853	4,365	93,117
1,41 mm a 1,00 mm			5,308	12,504	88,752
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	11,892	28,013	76,248
0,71 mm a 0,50 mm			5,315	12,52	48,234
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	2,511	5,9151	35,714
0,35 mm a 0,250 mm			1,497	3,5264	29,799
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	1	2,3557	26,273
0,177 mm a 0,125 mm		4	0,716	1,6867	23,917
0,125 mm a 0,088 mm			0,491	1,1566	22,230
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		0,346	0,8151	21,074
Silte e Argilas					
0,062 mm a 0,03 mm	a-b		0,5	1,1778	20,259
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		0,4	0,9423	19,081
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		0,55	1,2956	18,139
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		0,9	2,1201	16,843
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1	2,3557	14,723
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		5,25	12,367	12,367
< 0,001 mm	g		0	0	0,000
Total			42,451	100	



ANA CAROLINA LISBÔA

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Amostra	VR12	Data	6/10/2006
Local	Volta Redonda		

Peso Inicial	Peso Final
64,422	64,101

PENEIRAMENTO					
Grânulos		Phi	Peso	%	% acum
7,93 mm a 4,00 mm		- 2	3,181	4,9625	100,000
4,00 mm a 2,83 mm		- 1	1,093	1,7051	95,038
2,83 mm a 2,00 mm			0,822	1,2824	93,332
Areias					
2,00 mm a 1,41 mm	AMG	0	3,021	4,7129	92,050
1,41 mm a 1,00 mm			5,324	8,3056	87,337
1,00 mm a 0,71 mm	AG	1	12,096	18,87	79,032
0,71 mm a 0,50 mm			10,421	16,257	60,161
0,50 mm a 0,35 mm	AM	2	7,21	11,248	43,904
0,35 mm a 0,250 mm			3,859	6,0202	32,656
0,250 mm a 0,177 mm	AF	3	1,901	2,9656	26,636
0,177 mm a 0,125 mm		4	1,118	1,7441	23,670
0,125 mm a 0,088 mm			0,729	1,1373	21,926
0,088 mm a 0,062 mm	AMF		0,526	0,8206	20,789
Siltes e Argilas					
0,062 mm a 0,03 mm	a-b		0,3	0,468	19,968
0,031 mm a 0,016 mm	b-c		0,8	1,248	19,500
0,016 mm a 0,008 mm	c-d		0,75	1,17	18,262
0,008 mm a 0,004 mm	d-e		1,7	2,6521	17,082
0,004 mm a 0,002 mm	e-f		1,55	2,4181	14,430
0,002 mm a 0,001 mm	f-g		7,7	12,012	12,012
< 0,001 mm	g		0	0	
Total			64,101	100	

