

# **CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DE UMA ÁREA EXPERIMENTAL NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

**Jenesca Florencio Vicente<sup>1</sup>; Eurípedes do Amaral Vargas Júnior<sup>2</sup>; José Tavares Araruna  
Júnior<sup>3</sup>; Maria Geralda de Carvalho<sup>4</sup>**

Neste trabalho foram abordados vários parâmetros importantes para a implantação da área experimental no Campus da UFRRJ os quais foram comparados com parâmetros das áreas experimentais de Borden (Ontário, Canadá), Cape Cod (Massachusetts, Estados Unidos) e Ressacada (Santa Catarina, Brasil). Os resultados da caracterização hidrogeológica demonstraram que os parâmetros físicos são semelhantes ao da área experimental de Borden e os parâmetros hidroquímicos são semelhantes ao da área experimental de Cape Cod. Assim, a área experimental da UFRRJ pode ser considerada viável para o estabelecimento de ensaios com substâncias derivadas do petróleo.

In this work several important parameters were approached for the implantation of the experimental area in the Campus of UFRRJ which were compared with parameters of the experimental sites of Borden (Ontario, Canada), Cape Cod (Massachusetts, United States) and Ressacada (Santa Catarina, Brazil). The results of the hydrogeological characterization demonstrated that the physical parameters are similar to it of the experimental area of Borden and the hydrochemical parameters are similar to it of the experimental area of it Cape Cod. Thus the experime<sup>l</sup>ntal site of UFRRJ can be considered viable for the establishment of rehearsals with derived substances of the petroleum.

Hidrogeologia; Geoquímica; Área experimental.

---

<sup>1</sup> MSc, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Departamento de Geociências - Rodovia BR 465, KM 7, Campus Universitário - Seropédica - RJ - 23890-000 - (21) 3787-3673 - jeneska@gmail.com; <sup>2</sup> DSc, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Departamento de Engenharia Civil - Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea - Rio de Janeiro, RJ - 22453-900 - (21) 3527-1195 - vargas@puc-rio.br; <sup>3</sup> DSc, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Departamento de Engenharia Civil - Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea - Rio de Janeiro, RJ - 22453-900 - (21) 3527-1195 - araruna@puc-rio.br; <sup>4</sup> MSc, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Departamento de Geociências - Rodovia BR 465, KM 7, Campus Universitário - Seropédica - RJ - 23890-000 - (21) 3787-3673 - geralda@ufrj.br.

## **1 – INTRODUÇÃO**

A água subterrânea possui um importante papel no abastecimento público de muitas cidades, como no estado de São Paulo, onde 72% dos municípios são total ou parcialmente abastecidos por este recurso hídrico. Portanto, vazamentos de petróleo ou derivados podem ser tornar um risco à saúde pública, existindo a necessidade de estudos que vislumbrem os processos de contaminação do meio ambiente. Deste modo, cada vez mais pesquisas têm sido desenvolvidas para solução desse problema. Uma ferramenta usada é a utilização de áreas experimentais para o estudo do comportamento de contaminantes nas regiões saturadas e não saturadas do solo [1].

As áreas experimentais são locais delimitados nos quais são realizados ensaios e monitoramentos que remontem uma situação real de contaminação do meio ambiente (solo, água superficial e subterrânea) de forma controlada. Assim, são estudados os processos que ocorrem na área, a fim de prever, controlar e resolver um problema de contaminação no meio ambiente. Para tanto, é necessário que os parâmetros hidrogeológicos sejam bem caracterizados para previsão do comportamento do contaminante na água subterrânea e no solo.

São exemplos de áreas experimentais bem sucedidas Borden, no Canadá; Cape Cod, nos Estados Unidos e Fazenda da Ressacada, em Santa Catarina no Brasil. Essas áreas foram contaminadas com derivados de petróleo, monitoradas ao longo do tempo e seus resultados deram origem a trabalhos que contribuem para o conhecimento do comportamento de hidrocarbonetos derivados do petróleo nas águas subterrâneas e no solo.

### **1.1 – Objetivos**

Este trabalho teve como objetivo estudar um local dentro do Campus da UFRRJ, visando implantar uma área experimental para o desenvolvimento de pesquisas do comportamento de compostos derivados do petróleo no meio ambiente. Para tanto é necessário a compreensão dos seus parâmetros hidrogeológicos, físico-químicos e geoquímicos, a fim de determinar se a área possui condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento do projeto proposto de contaminação por hidrocarbonetos derivados do petróleo. Estes parâmetros estudados na área de estudo serão comparados com os parâmetros das áreas experimentais supracitadas para determinar se o local é ideal para dar prosseguimento à área experimental.

## **2 – CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO**

### **2.1 – Localização e Acesso**

A área está localizada no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, na Estrada dos Bandeirantes. O acesso ao local de estudo ocorre pelo Km 47 da Antiga Rodovia Rio-São Paulo ou pela Reta de Piranema (RJ 099).

### **2.2 – Geologia Local**

Trata-se de uma formação deposicional, constituída por sedimentos arenosos e siltico-arenosos depositados ciclicamente (fases úmidas e secas) pela subatual e atual drenagem da Bacia do Rio Guandu [2].

A Fácies Arenosa Pleistocênica inicia entre dois a cinco metros de profundidade, sua espessura pode atingir cerca de 35 m na Planície Aluvionar de Cobertura e 15 a 20 m (dados geofísicos) na Planície Colúvio-Aluvionar.

A Fácies Siltico-Argilosa Holocênica é constituinte da “cobertura” da Planície Aluvionar, correspondente ao “Depósito Colúvio-Aluvionar”, estando vinculada a hidrodinâmica fluvial da fase mais úmida. Esta facie é retirada (barro), a fim de aflorar os depósitos arenosos da Fácies Arenosa Pleistocênica [2].

### **2.3 – Geomorfologia Local**

A área de estudo pode ser classificada regionalmente como Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas (Terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas). Possui superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais (processos fluviais e de encosta) e Marinhas. Os terrenos são mal drenados com padrão de canais meandrante e divagante [3].

### **2.4 – Clima**

Os dados referentes à precipitação e temperatura foram obtidos através do Boletim da Pesagro-RJ, considerando a média histórica do período anual de 1973 a 2000. A temperatura média mensal da região é de 23,7° C, cuja máxima atinge 27,2° C no mês de fevereiro e a mínima atinge 20,7° C no mês de julho. O período de maior precipitação na região se encontra entre os meses de

dezembro a março, cuja máxima atinge 184,6 mm no mês de janeiro. O período de menor precipitação se encontra entre os meses de maio a agosto, cuja mínima atinge 31,1 mm no mês de julho.

As características do clima se enquadram no tipo Aw da classificação de Köppen, prevalecendo sobre uma extensa área de baixada e por algumas áreas do sopé da Serra do Mar e maciços costeiros. Caracteriza-se por possuir uma pequena estiagem nos meses do inverno e temperaturas médias elevadas (acima de 18°C) o ano inteiro.

## **2.5 – Hidrografia**

Na área de estudo, o sistema fluvial controlado pelo Rio Valão dos Bois é o de maior influência, na qual está inserido localmente na Bacia VIII do Sistema Hidrográfico da Baía de Sepetiba [4]. A Bacia VIII é drenada pelos rios da Guarda, Piloto, Piranema, Valão dos Bois, Valão do Dendê e Canal do Santo Inácio formados nas vertentes da Serra das Araras. O Rio Piloto se encontra a aproximadamente 500 metros da área pesquisada.

## **2.6 – Solos**

Os solos da área de estudo pertencem à série de solos Seropédica e são classificados (de acordo com a nova classificação de solos da Embrapa ocorrida em 1999) como argissolos, com coloração vermelho-amarelo, apresentando argilas de baixa atividade [5].

# **3 – METODOLOGIA**

## **3.1 – Determinação da Área de Estudo**

Os estudos iniciais começaram através de levantamento bibliográfico sobre a área. Preliminarmente foi selecionado o Campus da UFRRJ como área piloto.

Inicialmente foram pesquisados os tipos de solos locais, tendo como referência as informações obtidas no levantamento pedológico detalhado do Campus da UFRRJ datado de 1970, oriundas da dissertação de mestrado de Doracy Pessoa Ramos. Como a pesquisa prevê investigação em subsuperfície, também se levou em consideração a estratigrafia local com predominância de material arenoso.

Foram executados furos de sondagem com trado manual em três regiões diferentes dentro do campus da UFRRJ para avaliação preliminar da área que seria representativa da região.

Após avaliação das três áreas, a área escolhida foi a que se encontra próxima à RJ 099, por ter atingido o material arenoso do Aquífero Piranema. Após a escolha da área, o local para estudo foi delimitado em 2500 m<sup>2</sup> (50 m de largura por 50 m de comprimento).

Para confirmação das sondagens anteriores, foram planejadas quatro sondagens cujo objetivo foi avaliar preliminarmente a estratigrafia local e 5 poços de monitoramento foram instalados para maior detalhamento hidrogeológico da área. Após a confirmação da estratigrafia, decidiu-se dar prosseguimento a pesquisa no mesmo local. Assim, foram incluídos no planejamento outros trabalhos de campo e ensaios de laboratório.

### 3.2 – Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo envolveram levantamento topográfico utilizando como base o marco topográfico do IBGE 93640, com coordenadas UTM 634871,135; 7477260,566, cota de 22,13 metros (SAD 69). O equipamento de GPS geodésico utilizado possui a marca Promark2, da empresa Ashtech, O mapa topográfico local foi confeccionado através do software Surfer versão 7.0 através de interpolação pelo método de curvatura mínima.

Como supracitado, foram desenvolvidas quatro sondagens a trado mecânico (SP-01 a SP-04) cujas profundidades atingiram aproximadamente 8,64 metros para conhecimento detalhado da estratigrafia local. Em seguida foram instalados 5 poços de monitoramento em 19/09/2007 com o objetivo de melhor entender a hidrologia local. Estes poços foram perfurados com diâmetro de três polegadas (3”). Possuem profundidades de aproximadamente três metros e são constituídos de um metro de filtro geomecânico e dois metros de revestimento geomecânico com duas polegadas (2”) de diâmetro. Na Tabela 1 encontra-se a localização das sondagens e poços de monitoramento efetuados na área de estudo.

Tabela 1 – Localização das Sondagens e Poços de Monitoramento.

Poço	Leste	Norte	Elevação
FJ01	634918,948	7477264,085	11,279
FJ02	634879,565	7477254,383	11,298
FJ03	634882,460	7477289,541	11,470
FJ04	634894,066	7477283,214	11,536
FJ05	634903,740	7477309,151	11,565
SP01	634918,416	7477263,408	10,955
SP02	634880,169	7477253,699	10,988
SP03	634881,601	7477288,644	11,050
SP04	634893,494	7477282,034	11,176

O monitoramento do nível d'água foi realizado nos poços de monitoramento e teve a duração de 13 meses, compreendendo o período de julho de 2007 a julho de 2008. Foi possível observar as variações do nível freático nas épocas secas e chuvosas. O gradiente hidráulico foi calculado através da página da internet <http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/gradient4plus-ns.htm> usando os dados obtidos do levantamento topográfico e monitoramento do nível d'água, na qual utiliza-se as coordenadas geográficas em UTM e os dados de carga hidráulica total em metros.

Parâmetros como oxigênio dissolvido, temperatura, pH, potencial de oxi-redução e condutividade foram observados através da sonda multiparâmetro Troll 9500 e os dados foram tratados pelo *software* WinSitu versão 4.57. A medição dos parâmetros ocorreu no dia 24/11/2007.

O tipo de *slug test* utilizado neste trabalho foi o teste de aumento de carga (*rising-head test*), na qual envolve o rebaixamento instantâneo do nível d'água e a subida ao nível inicial é monitorada. Os métodos de Hvorslev e Bower and Rice foram utilizados neste trabalho para processamento dos dados obtidos no ensaio de campo, através do *software* Aqtesolv, versão 3.0 para estudante.

### 3.3 – Ensaio de Laboratório

Quatro amostras de solo deformadas e uma amostra de água foram coletadas em furos de sondagem feitos exclusivamente para ensaios de laboratório de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2 - Detalhes sobre as sondagens para fins de retirada de amostra deformada.

Local	UTME	UTMN	Amostra	Prof. (m)	Tipo de Ensaio
AM-01	634894,134	7477282,379	PUC-01	1,0	Caracterização de solos; Porosidade; Geoquímica
AM-01	634894,134	7477282,379	PUC-02	2,5	Caracterização de solos; Porosidade; Geoquímica
AM-02	634918,874	7477263,460	PUC-03	2,5	Porosidade
AM-03	634879,727	7477255,165	PUC-04	2,5	Porosidade
FJ-03	634882,460	7477289,541	FJ-03	2,16	Geoquímica

Para conhecimento detalhado do material de subsuperfície foram feitos ensaios de laboratório para caracterização geotécnica, porosidade e análises geoquímicas dos sedimentos e da água na qual os procedimentos são detalhados nos próximos itens.

Os ensaios para caracterização geotécnica das amostras consistiu na determinação da massa específica dos sólidos dos solos arenoso e argiloso de acordo com a norma brasileira NBR 07215, os limites de liquidez e de plasticidade foram determinados de acordo com as normas NBR 06459 e

NBR 07180, respectivamente. A análise granulométrica dos solos foi feita de acordo com a norma NBR 07181. Foi utilizada a infra-estrutura do Laboratório de Geotecnia da PUC-Rio.

Para obtenção da permeabilidade indireta foi utilizado o Método de Hazen [6], na qual a condutividade hidráulica de sedimentos arenosos é obtida através da curva de distribuição granulométrica, gerado pelo ensaio de análise granulométrica.

Foram coletadas amostras de três locais (vide Tabela 2), nos quais foram executadas sondagens com trado manual para obtenção de amostras deformadas do material arenoso. A porosidade foi determinada a partir do teor de umidade e densidade real dos grãos, na qual foram coletadas três amostras deformadas totalmente saturadas do sedimento arenoso.

As análises geoquímicas foram desenvolvidas pelo laboratório Analytical Solutions. As análises solicitadas referentes ao solo foram metais totais, COT, varredura de ânions, carbono inorgânico total, bicarbonatos e carbonatos. As análises solicitadas referentes a água foram metais totais, dureza total, COT, bicarbonatos, alcalinidade total, varredura de ânions, carbonatos carbono inorgânico total e fósforo total. Os resultados obtidos serão comparados com padrões de contaminação e potabilidade da CETESB e Lista Holandesa.

### **3.4 – Estudos Comparativos**

A partir da caracterização hidrogeológica da área de estudo, os parâmetros pesquisados serão comparados com os parâmetros das outras áreas experimentais: Borden, Cape Cod e Ressacada. Esta análise comparativa será necessária para indicar se a área experimental da UFRRJ é ideal para futuros ensaios de contaminação por substâncias derivadas do petróleo.

Todos os campos experimentais supracitados possuem trabalhos de pesquisa relacionados com a contaminação da água subterrânea por substâncias derivadas do petróleo.

## **4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 – Levantamento topográfico**

Através do software Surfer 7.0 foi desenvolvido o mapa topográfico local, na qual foram determinadas cotas dos poços de monitoramento, sondagens e pontos aleatórios cuja máxima altitude do terreno é 11,27 metros e a mínima 10,8 metros, configurando um terreno de relevo suave (plano), com declividade em torno de 3% (Figura 1).

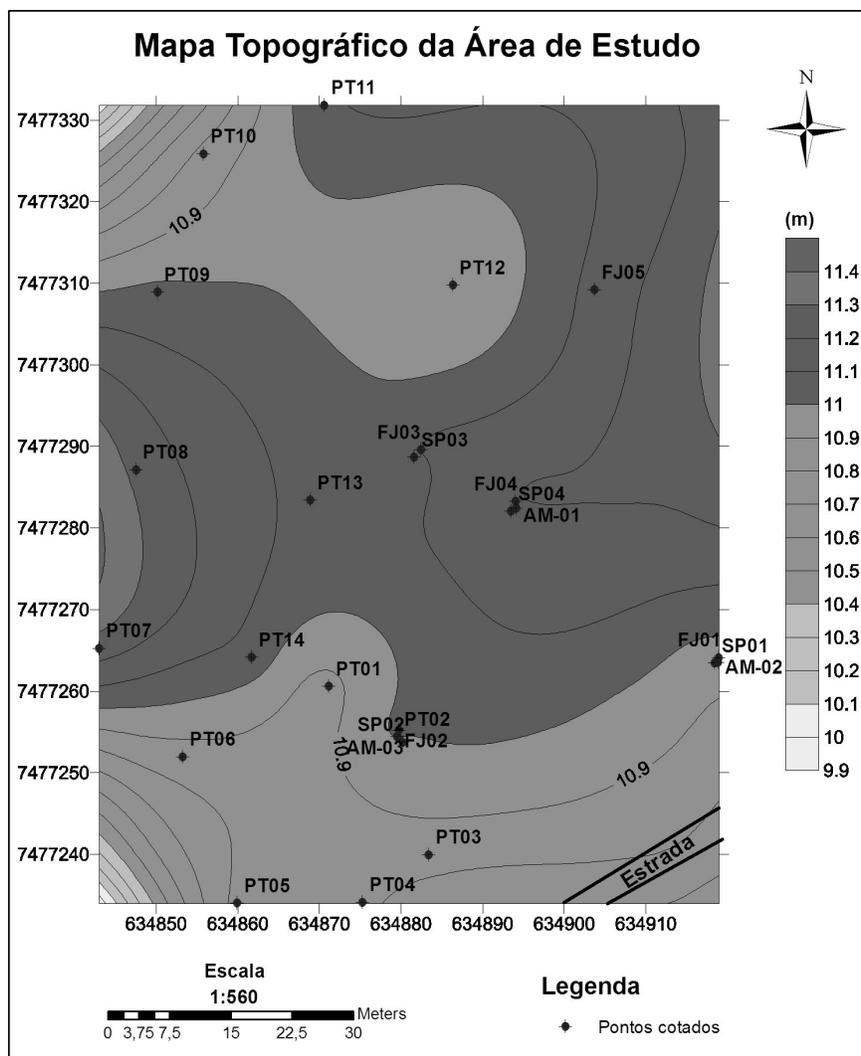


Figura 1 - Topografia da área experimental.

#### 4.2 – Gradiente hidráulico

O monitoramento do nível d'água foi desenvolvido em cinco poços de monitoramento, como descrito no item 3, subitem 3.2. O mapa de localização destes poços está representado na imagem do satélite QuickBird na Figura 2.

Mapa de Localização das Sondagens e Poços de Monitoramento

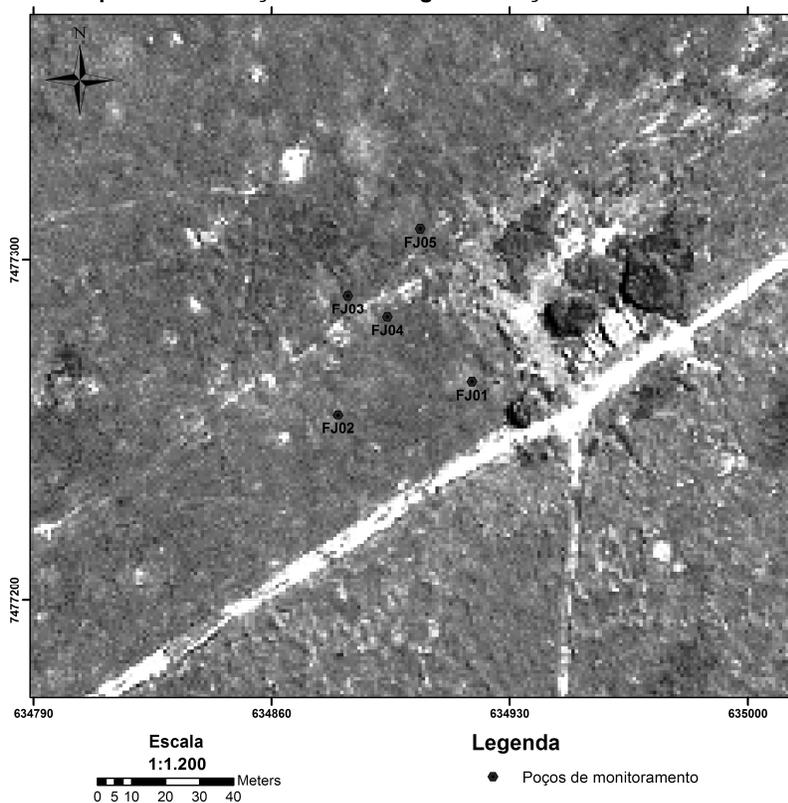


Figura 2 – Localização em imagem de satélite dos poços de monitoramento.

Foi possível observar as variações da carga hidráulica e do nível freático nas épocas secas e chuvosas (Tabela 3 e 4) correlacionando à precipitação no mesmo período.

Tabela 3 – Níveis D’água da Área de Estudo.

POÇO	N.A.(m) 18/07/2007	N.A. (m) 19/09/2007	N.A. (m) 24/11/2007	N.A. (m) 18/02/2008	N.A. (m) 09/05//2008	N.A. (m) 05/06/2008	N.A. (m) 10/07/2008	N.A. (m) 01/08/2008
FJ01		2,380	2,000	0,490	0,580	1,165	1,760	1,960
FJ02		2,370	1,880	0,575	0,650	1,190	1,795	1,990
FJ03		2,520	2,080	0,735	0,797	1,375	1,962	2,165
FJ04		2,520	2,190	0,795	0,870	1,435	2,025	2,230
FJ05			2,050	0,800	0,900	1,460	2,047	2,250
SP01	2,200							
SP02	2,440							
SP03	2,410							
SP04	2,360							
P (mm)	269,20	128,80	116,60	259,20	39,00	33,40	33,40	

Tabela 4 – Cargas Hidráulicas da Área de Estudo.

POÇO	H (m)							
	18/07/2007	19/09/2007	24/11/2007	18/02/2008	09/05/2008	05/06/2008	10/07/2008	01/08/2008
FJ01		8,899	9,279	10,789	10,699	10,114	9,519	9,319
FJ02		8,928	9,418	10,723	10,648	10,108	9,503	9,308
FJ03		8,950	9,390	10,735	10,673	10,095	9,508	9,305
FJ04		9,016	9,346	10,741	10,666	10,101	9,511	9,306
FJ05			9,515	10,765	10,665	10,105	9,518	9,315

Utilizando os dados da Tabela 4 e as cotas dos poços de monitoramento foi possível estimar a direção do fluxo da água subterrânea nas diversas estações climáticas do ano.

Foi possível observar que no mês de junho de 2007 houve precipitação acima da média história, em torno de 270,00 mm. Comparando esse mês de maior precipitação (junho de 2007) e o nível d'água no mesmo período observa-se que não há aumento relevante do nível freático, indicando que a recarga não é imediata, sendo necessário um período relativamente longo de chuva (dezembro a fevereiro) para aumento do nível freático. O nível d'água oscila aproximadamente dois metros ao longo do ano, permitindo que a argila e a areia fiquem expostas às condições saturada e não saturada, implicando na alternância entre ambiente aeróbio e anaeróbio. Em alguns locais é possível perceber o processo redutor quando está saturado e oxidante quando está não saturado devido à coloração da argila. O gradiente hidráulico da área muda sazonalmente, na qual a média foi determinada na Tabela 5:

Tabela 5 – Gradiente Hidráulico e Direção de Fluxo Referente às Estações Secas e Chuvosas.

ESTAÇÃO SECA		
DATA	i	DIREÇÃO REF. N(°)
05/06/08	0,000374	302,5
10/07/08	0,000394	254,4
01/08/08	0,000345	275,1
MÉDIA	0,000371	277,33
ESTAÇÃO CHUVOSA		
DATA	i	DIREÇÃO REF N(°)
18/02/08	0,0016	268
09/05/08	0,0009324	275,4
MÉDIA	0,0012662	241,89

O gradiente hidráulico da área muda sazonalmente e confirmou ser baixo para ambas as estações do ano. Entretanto as estações secas e chuvosas estão bem definidas com o gradiente variando uma ordem de grandeza. Observa-se também que quanto mais profundo o nível d'água, menor é o gradiente hidráulico. A direção do fluxo da água subterrânea varia razoavelmente durante

o ano, sendo predominante à direção W/SW, mas em alguns momentos sua direção muda levemente para NW. É necessário que haja continuação no monitoramento do nível d'água para confirmação da variação dos gradientes hidráulicos.

#### 4.3 – Parâmetros físico-químicos

Parâmetros como oxigênio dissolvido, temperatura, pH, potencial de oxi-redução e condutividade foram observados através da sonda multiparâmetro Troll 9500. A medição dos parâmetros ocorreu no dia 24/11/2007 de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros Físico-químicos.

POÇO	Condutividade em 24/11/2007 (mS/cm)	PH em 24/11/2007	Eh em 24/11/2007 (mV)	O <sub>2</sub> dissolv. em 24/11/2007 (mg/L)	Temp. em 24/11/2007 (°C)
FJ01	0,075	5,000	356,000	2,100	25,500
FJ02	0,141	5,900	283,000	2,500	25,300
FJ03	0,251	6,200	285,000	5,200	25,300
FJ04	0,077	5,600	322,000	5,600	25,400
FJ05	0,048	5,000	350,000	5,300	25,500

O pH entre 5,0 e 5,9 demonstra que a água subterrânea possui um caráter ácido. A condutividade possui valores baixos, nos quais demonstra que a água subterrânea possui poucos sais dissolvidos. O potencial oxi-redutor possui valores entre 283 a 356 mV, sendo típicos de ambiente oxidante. Observando o oxigênio dissolvido, os valores de 2 a 5 mg/L caracterizam que a água possui característica intermediária e aeróbica [7].

Assim, os parâmetros indicam que a área tende a ser oxidante e aeróbia. Porém, como o ambiente possui pouco oxigênio dissolvido para a degradação de hidrocarbonetos, um processo de contaminação pode levar o ambiente a se tornar anaeróbio em pouco tempo.

#### 4.4 – Permeabilidade

O ensaio *slug test* do tipo aumento de carga desenvolvido na área de estudo teve duração de poucos minutos em cada poço (5 a 10 minutos), pois a recuperação do nível d'água foi rápida.

O método de Hazen é baseado na análise granulométrica dos sedimentos. Os resultados do tratamento dos dados estão dispostos na Tabela 7:

Tabela 7 – Média da Condutividade Hidráulica da Área Pesquisada.

POÇO	HVORSLEV (cm/s)	BOUWER & RICE (cm/s)	HÁZEN (cm/s)
FJ-01	0,06867	0,05288	Amostra PUC-02
FJ-02	0,00503	0,003924	
FJ-03	0,004361	0,003425	
FJ-04	0,01985	0,01558	
FJ-05	0,02154	0,01692	
MÉDIA	0,0238902	0,0185458	0,02778889

A permeabilidade demonstrou ser compatível com os sedimentos encontrados, da ordem de  $2 \times 10^{-2}$  cm/s. O método de Hazen coincidiu com os valores encontrados através dos métodos de Hvorslev e Bouwer and Rice.

Os valores de condutividade obtidas através do ensaio *slug test* demonstraram possuir variabilidade espacial indicando que este parâmetro deve ser tratado de forma cuidadosa e detalhada.

#### 4.5 – Caracterização geotécnica

Os ensaios para caracterização geotécnica foram desenvolvidos em uma amostra de material argiloso a 1,5 metros de profundidade (PUC-01) e uma amostra em material arenoso a 2,5 metros de profundidade (PUC-02). O resumo dos resultados está disposto na Tabela 8:

Tabela 8 – Resumo da Caracterização Geotécnica.

Amostra	L.L. (%)	L. P. (%)	I.P. (%)	Gs	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
PUC-01	63,56	29,30	34,25	2,67	1,38	20,63	22,77	55,21
PUC-02	ND	ND	ND	2,61	5,24	87,39	1,72	5,66

Devido à amostra PUC-02 ser extremamente arenosa, não foi possível determinar os limites de consistência.

A caracterização geotécnica demonstrou que a camada argiloarenosa superior possui somente 5% de areia enquanto a camada arenosa possui 87% de areia. Essa quantidade de argila sugere que o aquífero pode ser considerado semi-confinado.

#### 4.6 – Porosidade

A porosidade do material arenoso foi determinada a partir da coleta de amostras deformadas saturadas do sedimento arenoso pertencente ao Aquífero Piranema (Tabela 9).

Tabela 9 – Média da Porosidade Local.

MOSTRA	SOLO(g)	ÁGUA(g)	V(cm <sup>3</sup> )	n(%)
PUC-02	24,00	7,66	13,61	33,20
PUC-02	29,35	9,35	15,87	29,95
PUC-02	24,53	8,14	13,61	31,73
PUC-03	18,44	6,68	11,34	38,41
PUC-03	19,41	6,70	11,34	35,17
PUC-03	25,39	8,87	15,01	35,93
PUC-04	19,99	7,14	12,46	39,23
PUC-04	17,51	6,63	11,08	40,14
PUC-04	20,50	7,73	12,47	37,73
MEDIA DA POROSIDADE (%)	35,72			

A porosidade demonstra ser favorável para o tipo de atividade proposta e compatível com o tipo de sedimento da área de estudo (depósito de sedimentos do Rio Guandu devido a sua subatual e atual drenagem).

#### 4.7 – Análise geoquímica de amostras de sedimento e água

Os resultados análises geoquímicas desenvolvidas pelo laboratório Analytical Solutions nas amostras PUC-01 (07446CS001), PUC-02 (07446CS002) e FJ-03 (07446CS003) estão dispostos nas Tabelas 10 e 11.

Na Tabela 10 estão descritos os valores obtidos nas amostras argilosa (PUC-01 / 07445CS001) e arenosa (PUC-02 / 07445CS002).

Tabela 10 – Resultados dos Parâmetros Geoquímicos das Amostras dos Sedimentos.

Parâmetros	Unidades	L.D.	L.Q.	BRANCO	07445CS001	07445CS002
COT	(%)	N.A.	0,05	N.D.	0,47	0,14
Cloretos	(mg/kg)	0,4	5,0	N.D.	58,4	2,9
Sulfatos	(mg/kg)	0,3	5,0	N.D.	33,5	12,9
Silício	(%)	N.A.	0,01	N.D.	7,46	23,59

Parâmetros	Unidades	L.D.	L.Q.	BRANCO	07445CS001	07445CS002
Alumínio	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	25880,93	3999,58
Antimônio	(mg/kg)	0,10	0,25	N.D.	N.D.	N.D.
Arsênio	(mg/kg)	0,10	0,25	N.D.	0,64	N.D.
Berílio	(mg/kg)	0,10	0,50	N.D.	N.D.	N.D.
Cádmio	(mg/kg)	0,02	0,05	N.D.	N.D.	N.D.
Cálcio	(mg/kg)	5,00	10,00	N.D.	N.D.	N.D.
Chumbo	(mg/kg)	0,10	0,50	N.D.	14,96	2,86
Cobre	(mg/kg)	0,05	0,25	N.D.	2,62	0,99
Cromo Total	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	33,36	2,55
Ferro Total	(mg/kg)	0,50	2,50	N.D.	35613,21	1332,51
Magnésio	(mg/kg)	12,50	25,00	N.D.	292,54	34,06
Manganês	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	17,18	2,85
Mercurio	(mg/kg)	0,02	0,10	N.D.	N.D.	N.D.
Níquel	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	7,48	0,83
Potássio	(mg/kg)	5,00	10,00	N.D.	2268,17	91,95
Prata	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	N.D.	N.D.
Selênio	(mg/kg)	0,05	0,25	N.D.	0,37	0,27
Sódio	(mg/kg)	12,50	25,00	N.D.	149,42	42,80
Titânio	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	443,85	41,16
Zinco	(mg/kg)	0,25	0,50	N.D.	30,62	5,13

As amostras de sedimento demonstram estar em conformidade com os padrões de referência para contaminação, não apresentando perigo para o meio ambiente.

A amostra argilosa (PUC-01) demonstrou ter mais rica quimicamente que a amostra arenosa (PUC-02).

Na Tabela 11 estão descritos os valores obtidos na amostra de água (FJ-03 / 07445CS003).

Tabela 11 – Resultados dos Parâmetros Geoquímicos da Amostra de Água.

Parâmetros	Unidades	L.D.	L.Q.	BRANCO	07445CS003
Alcalinidade Total	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	N.A.	1,0	N.D.	77,0
Bicarbonatos	(mg/L)	N.A.	0,5	N.D.	77,0
Carbonatos	(mg/L)	N.A.	0,5	N.D.	N.D.
Silica	(mg/L)	0,1	0,5	N.D.	21,1
COT	(mg/L)	0,1	2,0	N.D.	N.D.
Fósforo Total	(mg/L)	0,02	0,06	N.D.	0,07
Fluoretos	(mg/L)	0,004	0,020	N.D.	0,079
Cloretos	(mg/L)	0,04	0,50	N.D.	8,61
Nitritos	(mg/L)	0,002	0,020	N.D.	N.D.
Nitratos	(mg/L)	0,1	0,5	N.D.	2,0
Sulfatos	(mg/L)	0,03	0,50	N.D.	13,30

Parâmetros	Unidades	L.D.	L.Q.	BRANCO	07445CS003
Alumínio	(mg/L)	0,005	0,010	N.D.	1,495
Arsênio	(mg/L)	0,002	0,005	N.D.	N.D.
Bário	(mg/L)	0,002	0,010	N.D.	0,204
Boro	(mg/L)	0,005	0,010	N.D.	N.D.
Cádmio	(mg/L)	0,0003	0,0010	N.D.	N.D.
Cálcio	(mg/L)	0,100	0,200	N.D.	1,041
Chumbo	(mg/L)	0,002	0,010	N.D.	N.D.
Cobre	(mg/L)	0,001	0,005	N.D.	N.D.
Cromo Total	(mg/L)	0,005	0,010	N.D.	N.D.
Ferro Total	(mg/L)	0,010	0,050	N.D.	0,568
Magnésio	(mg/L)	0,250	0,500	N.D.	1,764
Manganês	(mg/L)	0,005	0,010	N.D.	0,022
Mercurio	(mg/L)	0,0002	0,0010	N.D.	N.D.
Molibdênio	(mg/L)	0,002	0,010	N.D.	N.D.
Potássio	(mg/L)	0,100	0,200	N.D.	2,945
Selênio	(mg/L)	0,001	0,005	N.D.	N.D.
Sódio	(mg/L)	0,250	0,500	N.D.	16,563
Vanádio	(mg/L)	0,002	0,010	N.D.	N.D.
Zinco	(mg/L)	0,005	0,010	N.D.	0,102
Dureza Total	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1,00	2,50	N.D.	9,48

A água foi classificada de acordo com o diagrama de Piper e Stiff (Figuras 3 e 4):

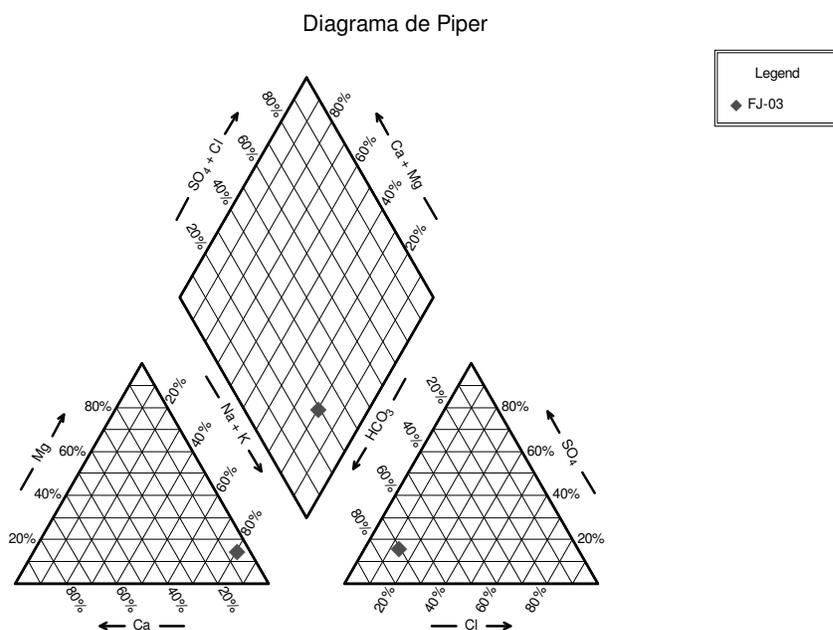


Figura 3 - Diagrama de Piper da amostra FJ-03.

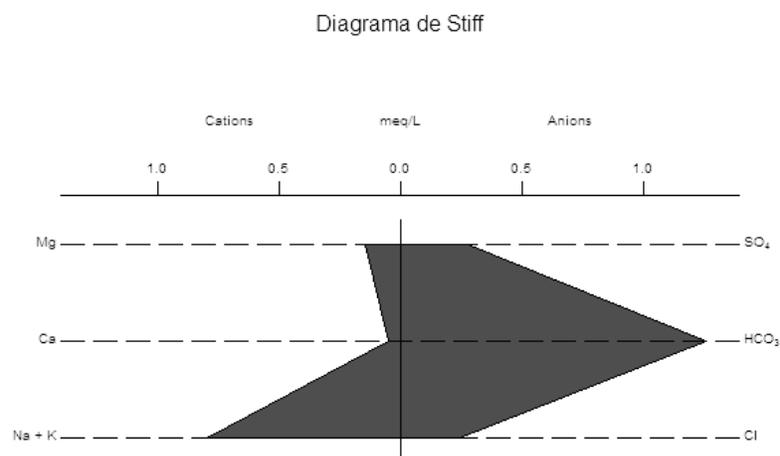


Figura 4 - Diagrama de Stiff da amostra FJ-03.

A água encontra-se fora da conformidade das normas de potabilidade. O alumínio (1,4 mg/L) e o ferro (0,5 mg/L) ocorrem em quantidades elevadas, prejudicando sua qualidade organoléptica. É provável que as altas concentrações de alumínio, sódio e potássio sejam devido à grande quantidade de feldspatos nos sedimentos arenosos.

Os diagramas de Piper e Stiff classificaram a água como bicarbonatada sódica e é considerada uma água leve por ter valores de  $\text{CaCO}_3$  inferiores a 50 mg/L.

#### 4.8 – Velocidade da água subterrânea

A velocidade da água subterrânea na direção de fluxo foi determinada através da lei de Darcy como estabelecido na expressão (1):

$$v = \frac{ki}{n} \quad (1)$$

Para o uso de (1) foi considerado  $k = 2,12 \times 10^{-2}$  cm/s, que constitui uma média da condutividade hidráulica estudada nos cinco poços de monitoramento. O gradiente hidráulico (i), descrito no Capítulo 3, por se diferenciarem uma ordem de grandeza, foram separados em duas categorias: o que representa a estação seca e o que representa a estação chuvosa. Através das médias dos valores encontrados nas estações climáticas, foi considerado para a estação seca o valor de 0,00037 e para estação chuvosa 0,0013. Para uma avaliação mais precisa do gradiente será necessário um programa mais detalhado de monitoramento sazonal do mesmo através da instalação de um maior número de pontos de medida.

A porosidade foi obtida através de ensaio de laboratório como descrito no Capítulo 3, no qual o valor considerado foi de 0,36, indicando a média das porosidades locais. Dessa forma, a velocidade aproximada da água subterrânea da área de estudo para a época seca e 0,019 m/dia ou 6,88 m/ano. Para a época chuvosa a velocidade cresce para 0,067 m/dia ou 24,16 m/ano .

#### 4.9 – Análise comparativa entre as áreas experimentais

Na Tabela 12 encontra-se um resumo dos parâmetros hidrogeoquímicos de três áreas experimentais existentes no mundo e da área experimental da UFRRJ:

Tabela 12 – Resumo dos Parâmetros Hidrogeoquímicos de Diversas Áreas Experimentais.

ÁGUA SUBTERRÂNEA NATURAL				
PARÂMETROS	BORDEN	CAPE COD	RESSACADA	UFRRJ
<b>K (cm/s)</b>	$7 \times 10^{-3}$	$1,273 \times 10^{-1}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$2,12 \times 10^{-2}$
<b>K (m/dia)</b>	6,048	109,99	1,81	18,33
<b>i</b>	$4,3 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-3}$	$3,7 \times 10^{-4}$ a $1,2 \times 10^{-3}$
<b>n</b>	0,33	0,39	0,4	0,36
<b>V (m/s)</b>	$9,12 \times 10^{-7}$	$5,22 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-7}$	$2,18 \times 10^{-7}$ a $7,66 \times 10^{-7}$
<b>V (m/dia)</b>	0,079	0,45	0,018	0,02 a 0,07
<b>V (m/ano)</b>	28,76	164,69	6,62	6,88 a 24,16
<b>EH (mV)</b>	---	---	32-169	283-356

<b>COT (%)</b>	0,02	2,1	0,06	N.D.
<b>Ox.dissolv.(mg/L)</b>	0-8,5	N.D.	5,0-8,0	2,1-5,6
<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	50-110	1,8	0,2	1,041
<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/L)</b>	2,4-6,1	1,7	0,1	1,764
<b>Na<sup>+</sup> (mg/L)</b>	0,9-2,0	5,5	---	16,563
<b>K<sup>+</sup> (mg/L)</b>	0,1-1,2	0,1	5	2,945
<b>Alcal.(CaCO<sub>3</sub>) (mg/L)</b>	100-250	6	4,0-30	77
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/L)</b>	1,0-3,0	8,1	---	8,61
<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	10,0-30,0	5,2	0,3-4,3	13,3
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<0,6	0,42	0,05-0,137	2
<b>TDS (mg/L)</b>	380-500	39	---	121,2
<b>pH</b>	7,3-7,9	5,8	5,0-5,3	5,5

Considerando a condutividade hidráulica, os ensaios efetuados na área de estudo mostraram valores maiores do que aqueles encontrados tanto em Borden quanto na Ressacada porém menores que aqueles encontrados em Cape Cod. Deve-se lembrar que os valores colocados na Tabela 20 são valores médios. Sabe-se que a condutividade hidráulica mostra eventualmente considerável variabilidade espacial como demonstrado por Sudicky (1986) a partir dos ensaios realizados no campo de Borden. Assim, será provavelmente necessária uma pesquisa detalhada para definir, assim como feito em Borden, de como é a variabilidade espacial da área da UFRRJ. O gradiente hidráulico pode ser considerado baixo, variando uma ordem de grandeza entre as estações seca e chuvosa, estando os valores entre os encontrados nas outras áreas. A porosidade possui valor que representa uma média entre todas as áreas, sendo maior que Borden e menor que na Ressacada e Cape Cod. Quanto maior a porosidade, mais oxigênio e nutrientes circulam no solo favorecendo os microrganismos. Porém a caracterização dos solos demonstrou que o aquífero é composto por areia média a grossa, o que prejudica os microrganismos já que eles se adaptam melhor a granulometrias mais finas por causa da maior superfície específica para se fixarem. A velocidade da água subterrânea na área de estudo na estação seca se assemelha a Ressacada e na estação chuvosa se assemelha a Borden. Cape Cod possui a velocidade bem maior que todas as áreas. Embora a Ressacada tenha a velocidade da água subterrânea baixa e Cape Cod tenha velocidade elevada, foi obtido sucesso nos experimentos, indicando que a velocidade, neste caso, não prejudicou as pesquisas.

O Eh da área de estudo mostra-se acima da área da Ressacada, indicando ambiente oxidante, na qual auxilia no aumento da atividade microbiana aeróbia, sendo interessante para a degradação de certos compostos como matéria orgânica natural e hidrocarbonetos derivados do petróleo.

Também este Eh está na faixa onde são favoráveis as reações com manganês e bicarbonato, na qual se encontra em quantidades razoáveis na água subterrânea da área de estudo [8].

O oxigênio dissolvido da área de estudo mostra-se menor que na Ressacada e próximo ao de Borden. Como as outras áreas experimentais estão localizadas em clima frio, espera-se que o oxigênio dissolvido nesses locais seja maior, já que a UFRRJ se localiza em clima tropical.

Globalmente, os elementos químicos principais para o desenvolvimento de microrganismos estão presentes em quantidades significativas (Ca, Mg, Na, K, Mg) na área de estudo, em maior quantidade que em Cape Cod e Ressacada, porém em menor quantidade que em Borden.

O íon  $\text{Cl}^-$  possui valor alto na área de estudo, no qual não é aconselhável utilizar traçadores com esse tipo de ânion, pois pode causar problemas de detecção.

Os aceptores de elétrons após o oxigênio ( $\text{NO}_3^-$ , Fe e  $\text{SO}_4^-$ ) estão em quantidades maiores que nas outras áreas, indicando que, na falta de oxigênio, existem outros aceptores que auxiliarão na degradação anaeróbia no contaminante.

O carbono orgânico total (COT) na área de estudo não foi detectado, enquanto as outras áreas experimentais apresentaram algum teor de COT. É necessário refazer esta análise através de outro método, para que haja certeza do teor desse parâmetro.

O pH encontra-se maior que na Ressacada e menor que em Cape Cod e Borden, distante do pH ideal de valor sete para os microrganismos. Neste caso, Borden tem a condição mais favorável, com pH próximo de sete.

A área possui 50 m de comprimento por 50 m de largura, na qual a velocidade entre 6 e 24 m/ano é favorável, sendo possível prosseguir a pesquisa sem utilizar métodos de contenção do contaminante, para que este não ultrapasse a área de estudo.

Levando em consideração todos os parâmetros analisados, a área experimental da UFRRJ demonstra ter parâmetros mais otimistas que a área da Ressacada, parâmetros físicos semelhantes com a área de Borden e parâmetros químicos semelhantes com a área de Cape Cod. A fazenda experimental da Ressacada, mesmo possuindo condições menos favoráveis, houve sucesso em pesquisas com biodegradação de contaminantes. Desse modo, a área experimental na UFRRJ demonstra estar apta a pesquisa com contaminação por substâncias derivadas de petróleo.

Esta análise comparativa é uma tentativa de prever o comportamento do contaminante que acordo com os parâmetros discutidos anteriormente. Porém, não é possível determinar quais parâmetros serão determinantes na eficiência da biodegradação e torna-se difícil estabelecer parâmetros que indiquem se a área será eficaz em degradar o contaminante, pois um parâmetro influencia no outro, modificando as condições ambientais. Somente na ocasião da contaminação serão desvendados os parâmetros que realmente influenciarão na biodegradação de hidrocarbonetos derivados de petróleo na área de estudo.

## 5 – CONCLUSÃO

A geologia local é simples, porém heterogênea. As sondagens demonstraram que o Aquífero Piranema é arenoso com intercalações locais de lentes de argila, sendo protegido por uma camada argilosa superior e outra camada inferior.

O ensaio de caracterização geotécnica verificou pouca quantidade de areia na camada superior argilosa, mudando o conceito hidrogeológico da área, reclassificando o aquífero como semi-confinado, no qual era inicialmente dito como livre.

A variabilidade espacial na condutividade hidráulica indica que estudos mais detalhados precisarão ser feitos, da mesma forma que foi desenvolvido em Borden (pioneiro neste tipo de estudo) e Cape Cod.

A pouca mineralização das águas subterrâneas pode ser explicada pela presença predominante de quartzo e feldspato nos sedimentos, pois são minerais resistentes. A curta residência da água no aquífero também pode ser indicada como outro fator, pois não há tempo hábil para que a água reaja com os minerais e os elementos químicos se solubilizem.

Comparando os resultados dos parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas, a área de estudo possui características físicas semelhantes com a área de Borden (velocidade de aproximadamente de 30 m/ano) e características geoquímicas semelhantes à área de Cape Cod (possui os elementos químicos necessários para desenvolvimento de microorganismos). Assim, a área experimental da UFRRJ pode ser considerada viável para o estabelecimento de ensaios com substâncias derivadas do petróleo.

Somente quando os procedimentos de contaminação da área de estudo por substâncias derivadas de petróleo tiverem início, serão desvendados os parâmetros que predominarão na eficiência da biodegradação, pois em sistemas biológicos os fatores ambientais são muitos e fica difícil precisar quais deles serão determinantes para o sucesso da pesquisa.

## 6 – BIBLIOGRAFIA

- [1] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental "Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo" - CETESB; 2001.
- [12] GOES, M. H. B. Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí/RJ. Rio Claro/SP, UNESP (Tese de Doutorado), 529p. 1994.

- [3] CPRM. Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. 1 CD-ROM – Brasília. 2000.
- [4] ELETROBOLT. Relatório Final. Estudos Hidrogeológicos dos Aquíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ. 170p. 2003.
- [5] RAMOS, D.P. Levantamento Detalhado de Solos da Área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica/RJ. UFRRJ (Dissertação de Mestrado), 141 p. 1970.
- [6] FETTER, C. W. Applied Hydrogeology. London: Prentice Hall. 4ª Ed. 598 p. 2001.
- [7] SCHREIDER, M.E.; BAHR, J.M. Spatial Electron Acceptor Variability: Implications for Assessing Biorremediation Potencial. Biorremediation Journal. V.3. p. 363-378. 1999.
- [8] STUMM, W. MORGAN, J. J. Aquatic Chemistry. New York. John Wiley & Sons. 1981.

### **Agradecimentos**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

À Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).