

Relatório Final

Mapeamento e Avaliação do Potencial Hídrico Subterrâneo dos Aluviões em Zonas Semi-Áridas Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG

2007

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO SUPERIOR
FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

**Mapeamento e Avaliação do Potencial Hídrico Subterrâneo
dos Aluviões em Zonas Semi-Áridas Utilizando Técnicas de
Sensoriamento Remoto e SIG.**

RELATÓRIO FINAL

Convênio Edital MCT/CNPq/CT-Hidro nº 02/2003

Fortaleza, 12 de Agosto de 2007

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Cid Gomes

SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO SUPERIOR

René Barreira

PRESIDENTE DA FUNCEME

Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins

ESTE PROJETO FOI FINANCIADO PELO MCT/CNPq/CT-Hidro

MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Sergio Machado Rezende

PRESIDENTE DO CNPq

Erney Felício Plessmann de Camargo

PRESIDENTE DO CT-Hidro

José Almir Cirilo

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Geral

1 - PhD.Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins - FUNCEME

Caracterização Geoambiental e Hidroclimatológica

MSc. Alan Michell Barros Alexandre - FUNCEME

MSc. Ana Lúcia Góes d'Assumpção - FUNCEME

MSc. Fernando César Moura de Andrade- FUNCEME

MSc. Magda Maria Marinho Almeida - FUNCEME

MSc. Porfírio Sales Neto - FUNCEME

Sensoriamento Remoto e SIG

PhD.Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins

MSc. Gilberto Möbus - FUNCEME

MSc. Francisco de Assis Jorge De Oliveira – FUNCEME

MSc. Giovanni Brígido Bezerra Cardoso - FUNCEME

Caracterização Hidrogeológica

MSc. Nelson Paiva Raulino de Souza - FUNCEME

MSc. Porfírio Sales Neto - FUNCEME

MSc. Fernando César Moura de Andrade- FUNCEME

MSc. Valdenor Nilo de Carvalho Junior - FUNCEME

Apoio Técnico

Jair Barroso Lúcio - Técnico da FUNCEME

Yuri Castro Ponciano Lima - Bolsista

Rafaela Gonzaga Silva - Bolsista

APRESENTAÇÃO

Em continuidade aos esforços do estado em conhecer as disponibilidades de águas subterrâneas em seus domínios, a FUNCEME buscou no CT-Hidro uma importante parceria para fortalecer essa busca de conhecimento. No ano de 2004 teve sua proposta ALUVIÕES aprovada, o que fomentou o início de uma importante etapa no conhecimento dos sistemas aluvionares do Estado e, mais importante, a viabilidade de seu uso para atender demandas importantes em uma sociedade tão vulnerável, a semi-árida.

Esta semente servirá de base a um programa estadual para identificação dos aluviões do Estado, assim avaliação de seu potencial hidrogeológico para atendimento às demandas estratégicas, em especial para programas de agricultura familiar. Nos objetivos deste programa estadual, será prevista a integração de esforços de agências federais, estaduais e municipais e, quando for o caso, a articulação com o setor produtivo.

A parceria estabelecida hoje no âmbito desta iniciativa conta hoje com pesquisadores do CEMAGREF, em particular o pesquisador Dr. Pascal Kosuth, *Directeur de l'UMR TETIS "Territoires, Environnement, Télédétection et Information Spatiale"*, *Cemagref-CIRAD-ENGREF*, e do envolvimento da FUNCEME no programa experimental SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*). No âmbito desta cooperação CEMAGREF/FUNCEME estão previstos: 1. elaboração de projetos de cooperação a serem submetidos à UE; 2. elaboração de artigos científicos; e 3. intercâmbio de profissionais. Adicionalmente, a FUNCEME também tem buscado parcerias com órgãos estaduais visando ao fortalecimento do programa.

Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins

Coordenador do Projeto

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
1 - INTRODUÇÃO	2
1.1 - Contextualização do Problema	2
1.2 - Relevância do Projeto	3
1.3 – Antecedentes	4
1.4 - Objetivos do Projeto	7
1.5 - Organização dos Capítulos	8
2 - CONFIGURAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	11
2.1 - Localização e Acesso	11
2.2 – Hidrografia	12
2.3 – Solos	14
2.4 - Cobertura Vegetal	17
2.5 - Aspectos Geológicos e Lito-estruturais	17
2.6 - Caracterização Hidroclimatológica	21
2.7 - Meio Antrópico da Área de Influência do Projeto	30
2.7.1 - População residente	31
2.7.2 - Aspectos sócio-econômicos	33
3 - MAPEAMENTO DOS CORPOS ALUVIONARES	39
3.1 – Introdução	39
3.2 - Sensoriamento Remoto	39
3.2.1 - Aspectos conceituais	39
3.2.1.1 - <i>Radiação visível</i>	40
3.2.1.2 - <i>Radiação infravermelha</i>	41
3.2.2 - Sistemas sensores	41
3.2.3 - Os principais satélites de recursos naturais	44

3.2.3.1 - <i>Satélite LANDSAT (sensores TM e ETM+)</i>	44
3.2.3.2 - <i>Satélite EOS AM-1 (sensor ASTER)</i>	46
3.2.3.3 - <i>Satélite SPOT 5</i>	47
3.2.4 - <i>Interação da radiação com os vários alvos na superfície terrestre</i>	48
3.2.4.1 - <i>Solo</i>	49
3.2.4.2 - <i>Vegetação</i>	51
3.2.4.3 - <i>Água</i>	52
3.2.5 - <i>Processamento digital de imagem</i>	53
3.2.5.1 - <i>Pré-processamento</i>	53
3.2.5.2 - <i>Tratamento de imagens</i>	61
3.2.5.3 - <i>Classificação de imagens</i>	61
3.2.5.4 - <i>Pós-processamento</i>	69
3.3 - <i>Materiais e Métodos</i>	72
3.3.1 - <i>Material utilizado</i>	73
3.3.2 - <i>Trabalhos preliminares</i>	73
3.3.3 - <i>Classificação dos aluviões por fotointerpretação subjetiva</i>	74
3.3.4 - <i>Classificação dos aluviões - processo automático a partir de imagens com pixels em níveis de cinza (DN)</i>	75
3.4 - <i>Espectrometria de Campo (coleta de assinaturas espectrais)</i>	83
3.4.1 - <i>Material usado</i>	83
3.4.2 - <i>Procedimento e resultados da coleta das assinaturas espectrais</i>	83
3.4.2.1 - <i>Água</i>	86
3.4.2.2 - <i>Bordas (afloramentos rochosos e solos)</i>	87
3.4.2.3 - <i>Vegetação</i>	93
3.4.2.4 - <i>Aluviões (depósito sedimentar)</i>	100
3.4.2.5 - <i>Todos os alvos</i>	105
3.4.2.6 - <i>Pixel da Imagem x espectroradiômetro</i>	107
3.5 - <i>Pré-processamento das Imagens ASTER</i>	109
3.5.1 - <i>Correção do "cross-talk" nas bandas do sensor ASTER (sub-sistema SWIR)</i>	109
3.5.2 - <i>Combinação das bandas VNIR e SWIR para a mesma resolução espacial</i>	109

3.5.3 - Correção atmosférica das imagens ASTER	111
3.5.4 - Classificação com o uso de bibliotecas espectrais	112
3.6 - O mosaico das imagens ASTER	115
3.7 - Classificação a partir das imagens SPOT5	116
3.7.1 - Pré-processamento das imagens SPOT	119
3.7.2 - Processamento das imagens SPOT	120
4 - AVALIAÇÃO HIDROGEOLOGICA DOS AQUÍFEROS ALUVIONARES	131
4.1 – Introdução	131
4.2 - Aspectos Teóricos	131
4.2.1 - Síntese da hidrogeologia do Estado do Ceará	132
4.2.2 - Reservas hídricas subterrâneas	134
4.2.2.1 - <i>Reservas permanentes ou disponíveis</i>	135
4.2.2.2 - <i>Reservas temporárias (reguladoras ou renováveis)</i>	136
4.2.2.3 - <i>Reservas exploráveis</i>	138
4.2.2.4 - <i>Reservas aquíferas do Ceará</i>	139
4.3 - Materiais e Métodos	140
4.3.1 - Sinopse metodológica	141
4.4 - Trabalhos Preliminares	141
4.5 - Trabalhos de Campo	142
4.5.1 - Medição das larguras dos aluviões e sondagens a trado	143
4.5.2 - Ensaio de permeabilidade "in situ"	145
4.6 - Análise dos Dados	148
4.6.1 - Aspectos dimensionais das redes de drenagens	148
4.6.2 - Aspectos dimensionais dos corpos aluvionares	150
4.6.3 - Aspectos hidráulicos dos aquíferos aluvionares	154
4.6.4 - Estimativa das reservas, potencialidade e disponibilidade	157
4.6.4.1 - <i>Reservas permanentes (Rp)</i>	158
4.6.4.2 - <i>Reservas reguladoras ou renováveis (Rr)</i>	159
4.6.4.3 - <i>Potencialidades & reservas exploráveis</i>	163
4.6.5 - Aspectos da qualidade das águas dos aquíferos aluvionares	164

4.7 - Proposta de hierarquização dos aquíferos aluvionares da área	168
5 - CONCLUSÕES	173
6 - RECOMENDAÇÕES	175
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177

ANEXO I - MAPA E PERFIS DOS FUIROS DE SONDAGENS.

ANEXO II - ENSAIOS DE PERMEABILIDADE (Dados, Gráficos e Resultados)

MAPA

LISTA DE FIGURAS & FOTOS

- Figura 2.01 Localização da Folha Itapiúna no Estado do Ceará.
- Figura 2.02 Municípios localizados na Folha Itapiúna.
- Figura 2.03 Acesso aos municípios onde foi feito o trabalho
- Figura 2.04 Hidrografia e delimitações das bacias hidrográficas formadas pelos principais rios localizados na Folha Itapiúna.
- Figura 2.05 Localização da macro-drenagem em conjunto com a conformação do relevo.
- Figura 2.06 Distribuição espacial dos diversos tipos de solos contidos na região de estudo.
- Figura 2.07 Distribuição espacial da vegetação contida na região de estudo.
- Figura 2.08 Mapa geológico-estrutural da Folha Itapiúna (1:500.000)
- Figura 2.09 Sistema Jaguaribe-Orós (modificado, in Parente et al. 1995).
- Figura 2.10 Distribuição espacial das estações pluviométricas e PCD localizada na Folha Itapiúna.
- Figura 2.11 Distribuição das precipitações médias anuais na Folha Itapiúna.
- Figura 2.12 Variação mensal da temperatura média, máxima e mínima da estação meteorológica de Morada Nova.
- Figura 2.13 Séries de vazões na seção de controle 1.
- Figura 2.14 Séries de vazões na seção de controle 2.
- Figura 2.15 Séries de vazões na seção de controle 3.
- Figura 2.16 Evolução da população da região, por sexo. Período 2001-2006.
- Figura 3.01 Janelas atmosféricas.
- Figura 3.02 Espectro eletromagnético.
- Figura 3.03 Esquema para diferenciar IFOV e pixel
- Figura 3.04 Bandas espectrais do sensor ASTER.

- Figura 3.05 HRS SPOT 5 para geração de imagens estereoscópicas.
- Figura 3.06 Comportamento espectral de vários alvos
- Figura 3.07 Espectro de reflectância de uma folha de vegetação verde e sadia.
- Figura 3.08 Curvas de reflectância da água nos estados líquido, gasoso e sólido.
- Figura 3.09 Reflectância da vegetação a uma altitude de 20 m sem correção e corrigida pelo modelo 6S, sensor TM. Média de 25 pixels.
- Figura 3.10 Características de três tipos diferentes de pixel.
- Figura 3.11 Espaço de atributos com densidade de todos os *pixels*
- Figura 3.12 Diagrama do espaço de atributo das classes A, B, e C
- Figura 3.13 Espaço de atributos mostrando a posição da média de cada classe.
- Figura 3.14 Espaço de atributos mostrado na forma de contorno
- Figura 3.15 Espaço de atributo com os limites de decisão
- Figura 3.16 Distribuições normais representando duas áreas de treinamento
- Figura 3.17 Exemplo de SAM bidimensional.
- Figura 3.18 Mapa dos aluviões sobreposto a imagem LANDSAT 7 - Interpretação subjetiva.
- Figura 3.19 Classificação usando o método MAXVER
- Figura 3.20 Mapa dos Aluviões Sobreposto a imagem ASTER
- Figura 3.21 Curvas espectrais da água.
- Figura 3.22 Curvas espectrais de Afloramento Rochoso com vegetação.
- Figura 3.23 Curvas espectrais de Afloramento Rochoso sem vegetação.
- Figura 3.24 Curvas espectrais de solos expostos (s/vegetação).
- Figura 3.25 Curvas espectrais de solos com vegetação rala.
- Figura 3.26 Curvas espectrais de vegetação de pequeno porte.
- Figura 3.27 Curvas espectrais de vegetação de porte médio.
- Figura 3.28 Curvas espectrais de vegetação desenvolvidas em ambiente aquático.
- Figura 3.29 Curvas espectrais de plantios da região.

- Figura 3.30 Curvas espectrais de areias secas.
- Figura 3.31 Curvas espectrais de areias úmidas.
- Figura 3.32 Curvas espectrais de areias com vegetação rala.
- Figura 3.33 Curvas espectrais médias de todos os alvos.
- Figura 3.34 Resposta espectral do Pinheiro.
- Figura 3.35 Assinaturas espectrais do alvos do aluvião no Riacho Bonito.
- Figura 3.36 Compatibilização de resoluções espaciais entre imagens VNIR e SWIR do sensor ASTER.
- Figura 3.37 Janela do Módulo FLAASH para correção atmosférica.
- Figura 3.38 Classificação de imagens ASTER – a partir de 9 bandas espectrais.
- Figura 3.39 Detalhe 1 do aluvião no rio Choro.
- Figura 3.40 Detalhe 2 do aluvião no rio Choro.
- Figura 3.41 Mosaico com as imagens ASTER e a classificação dos aluviões.
- Figura 3.42 Bacia hidrográfica do riacho Forquilha.
- Figura 3.43 Imagem da bacia do riacho Forquilha.
- Figura 3.44 Mapa temático da bacia do riacho Forquilha.
- Figura 3.45 Detalhe 1 do aluvião do riacho Forquilha.
- Figura 3.46 Detalhe 2 do aluvião do riacho Forquilha.
- Figura 3.47 Classificação imagem SPOT5 (5 m).
- Figura 3.48 Detalhe 1.
- Figura 3.49 Detalhe 2.
- Figura 3.50 Mapa dos aluviões em 3D da Bacia do Riacho Forquilha.
- Figura 4.01 Principais domínios hidrogeológicos do Ceará
- Figura 4.02 (a): Drenagem SUDEME (1:100.000), (b): Drenagem gerada a partir do MNT, (c) e (d): Detalhes das respectivas drenagens, destacando-se diferenças de escoamento dos cursos.
- Figura 4.03 Classificação da drenagem segundo Strahler & seções amostradas.
- Figura 4.04 Equipamento utilizados nos serviços de sondagens .

- Figura 4.05 Fragmentos e seixos que impidiam o avanço das sondagens.
- Figura 4.06 Desenho esquemático e foto do medidor de nível d'água.
- Figura 4.07 Variáveis envolvidas na estimativa da permeabilidade e ensaio em andamento no campo.
- Figura 4.08 Exemplos de aluviões associados a canais de 1ª ordem.
- Figura 4.09 Exemplos de aluviões associados a canais de 2ª ordem.
- Figura 4.10 Exemplos de aluviões associados a canais de 3ª ordem.
- Figura 4.11 Exemplos de aluviões associados a canais de 4ª ordem.
- Figura 4.12 Exemplos de aluviões associados a canais de 5ª ordem.
- Figura 4.13 Poços cadastrados na área, pela CPRM em 1998.
- Figura 4.14 Classificação das águas subterrâneas da região quanto a salinidade
- Figura 4.15 Carta do potencial hidrogeológico dos aquíferos aluvionares na Folha Itapiúna
-
- Foto 3.01 Aluviões dos rios Choró (a), Sitiá (b) e Pirangi (c)
- Foto 3.02 Ilustração da área coberta pelo sensor do espectrorradiômetro.
- Foto 3.03 Afloramentos rochosos sem vegetação (a) e com vegetação rala (b).
- Foto 3.04 Solo exposto (a) e solo com vegetação de pequeno porte (b).
- Foto 3.05 Vegetação de pequeno porte em período seco (a) e em período úmido (b).
- Foto 3.06 Vegetação de médio porte em período seco (a) e em período úmido (b).
- Foto 3.07 Vegetação em leito de rio, em período seco (a) e em período úmido (b).
- Foto 3.08 Plantios de Cana de açúcar (a) e de milho (b) na região.
- Foto 3.09 Aluviões expostos (areia), em período seco (a) e em período úmido (b).
- Foto 3.10 Aluviões (areias) úmidos, em período seco (a) e em período úmido (b).
- Foto 3.11 Aluviões (areias) com cobertura vegetal rala em período seco (a) e em período úmido (b).
- Foto 3.12 Aluvião do Riacho Bonito

LISTA DE TABELAS & QUADROS

- Tabela 2.01 Caracterização dos postos pluviométricos controlados pela FUNCEME na Folha Itapiúna (coordenadas em UTM).
- Tabela 2.02 Caracterização dos postos pluviométricos controlados pela ANA na Folha Itapiúna (coordenadas em UTM).
- Tabela 2.03 Características fisiográficas e vazões médias de longo período (Qmlp).
- Tabela 2.04 Características fisiográficas e Parâmetros calculados do modelo SMAP.
- Tabela 2.05 Vazões calculadas na seção de controle 1, 2 e 3.
- Tabela 2.06 População residente nos municípios inseridos na área de influência do projeto, no período de 2001 a 2006.
- Tabela 2.07 População residente nos municípios da região, por situação do domicílio e sexo – 2000.
- Tabela 2.08 População residente nos municípios da região, por situação do domicílio. Período 1991– 2000.
- Tabela 2.09 Unidades de saúde ligadas ao sistema único de saúde, por tipo de prestador 2003.
- Tabela 2.10 Profissionais de Saúde na região. 2003.
- Tabela 2.11 Unidades de saúde ligadas ao sistema único de saúde, por tipo de unidade – 2003.
- Tabela 2.12 Docentes, Matrícula Inicial e Salas de Aula – 2003.
- Tabela 3.01 Relação de cores e faixas espectrais na região do visível.
- Tabela 3.02 Série de satélite LANDSAT.
- Tabela 3.03 Características gerais dos três subsistemas ASTER.
- Tabela 3.04 Características do Sensor SPOT 5.
- Tabela 3.05 Seleção do Modelo Atmosférico baseado na Latitude/Mês do ano dependendo da temperatura da superfície.

- Tabela 3.06 Vapor de água e temperatura na superfície.
- Tabela 3.07 Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.
- Tabela 3.08 Resultados da classificação - imagem ASTER 0033 – MAXVER.
- Tabela 3.09 Resultados da classificação – imagem ASTER 0034 – MAXVER.
- Tabela 3.10 Resultados da classificação – imagem ASTER 0034 - Distância Mahalanobis
- Tabela 3.11 Resultados da classificação – imagem ASTER 1326 - MAXVER.
- Tabela 3.12 Resultados da classificação – imagem ASTER 1326 - SAM
- Tabela 3.13 Resultados da classificação – imagem ASTER 1326 - Distância Mínima
- Tabela 3.14 Resumo dos resultados da classificação.
- Tabela 3.15 DN´s dos pixels registrado pelo espectrorradiômetro.
- Tabela 3.16 Resumo da avaliação da classificação de aluviões em imagem ASTER.
- Tabela 3.17 Assinaturas espectrais registradas na imagem SPOT.
- Tabela 3.18 Resultados da classificação - imagem SPOT5 10 m - Método – Distância mínima.
- Tabela 3.19 Resultados da avaliação da classificação.
- Tabela 3.20 Resultados da classificação - imagem SPOT5 5 m. Método – Distância mínima.
- Tabela 3.21 Resultados da avaliação da classificação.
- Tabela 4.01 Reservas Hídricas Subterrâneas das áreas sedimentares do Estado do Ceará.
- Tabela 4.02 Potencial de Aproveitamento das Águas Subterrâneas das áreas sedimentares do Estado do Ceará.
- Tabela 4.03 Resumo dos valores característicos dos trechos de drenagem da área.
- Tabela 4.04 Estimativa da razão de bifurcação (R_b) para a área como um todo.
- Tabela 4.05 Estimativa da razão de comprimento (R_L) para a área como um todo.

Tabela 4.06	Valores das características dimensionais dos trechos amostrados dos aluviões.
Tabela 4.07	Valores característicos das condutividades hidráulicas estimadas nos trechos amostrados dos aluviões.
Tabela 4.08	Classes de condutividade hidráulica.
Tabela 4.09	Valores de K (em cm/h) para alguns materiais, segundo vários autores.
Tabela 4.10	Valores de K (em cm/h) para aluviões em áreas do semi-árido nordestino, estimados por autores nacionais.
Tabela 4.11	Porosidade eficaz de alguns sedimentos inconsolidados
Tabela 4.12	Valores representativos de porosidade efetiva e total
Tabela 4.13	Resumo das características dimensionais dos trechos de aluviões da área do projeto.
Tabela 4.14	Dados para a estimativa da descarga específica da área.
Tabela 4.15	Evapotranspiração potencial (máxima) em Quixeramobim.
Tabela 4.16	Estatísticas da série de pluviometria de Ibaretama (cód. 544)
Tabela 4.17	Valores característicos da Condutividade Elétrica e de Sólidos Totais Dissolvidos dos poços tipo amazonas da área pesquisada.
Tabela 4.18	Classificação das águas quanto a salinidade.
Tabela 4.19	Valores de cloreto (na superfície) no Açude Castro.
Quadro 2.01	Principais unidades litoestratigráficas da Folha Itapiúna.
Quadro 4.01	Classificação do Potencial Hidrogeológico dos aquíferos aluvionares da Folha Itapiúna

INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Contextualização do Problema

Grande parte do território nordestino brasileiro, dado a sua posição geográfica, pertence ao chamado "Polígono das Secas". Trata-se de uma região semi-árida, onde vários impactos ambientais fragilizam seus ecossistemas naturais. O Ceará, inserido nesse contexto, freqüentemente é castigado pelo fenômeno da seca. Como se não bastasse, mesmo em anos com pluviosidade significativa, ocorrem longos períodos de estiagem (em média 8 meses) que, associados a má distribuição das precipitações, conferem aos rios um caráter intermitente. Esse cenário faz com que o Estado do Ceará apresente, além de problemas freqüentes de abastecimento em várias regiões, poucas áreas com condições de desenvolver atividades econômicas. Apesar das adversidades climáticas, o Estado possui uma vocação agrícola, histórica, que vem ganhando força, nos últimos anos, graças ao estímulo dado à agricultura irrigada.

O consumo de quantidades significativas de água para a prática da agricultura irrigada, a irregularidade pluviométrica, associado à pequena disponibilidade de águas superficiais em algumas áreas (baixa incidência de estruturas hídras para o seu aproveitamento), colocam as águas subterrâneas como uma das únicas alternativas para suprimento de água, seja para abastecimento humano, seja para fins econômicos, em grande parte do Estado.

O Ceará possui mais de 70% de sua área composta por rochas cristalinas que, do ponto de vista hidrogeológico, apresentam-se com limitada capacidade de armazenamento e com dificuldades de extração, por poços, de grandes vazões (em média, inferiores a 3 m³/h). Mas, ao longo das drenagens desses ambientes, existem depósitos, de materiais predominantemente arenosos, que se constituem, normalmente, em bons aquíferos e, por conseqüência, com forte potencial hídrico. Esses depósitos, denominados de aluviões, apesar de não apresentarem dimensões (largura e espessura) muito significativas, comparativamente às de regiões climaticamente mais amenas, possuem uma significativa ocorrência superficial. O comportamento hidrogeológico desses sedimentos oscila, particularmente, em função da composição mineralógica e das espessuras dos depósitos.

Vale ressaltar que não existe, ainda, um mapa que indique a localização desses aluviões, exceto os de grande dimensões, na região do domínio do cristalino no Estado. Torna-se evidente a importância da localização de tais depósitos, de modo a auxiliar nas buscas de novas alternativas no suprimento d'água. Ainda, se esta informação vier acompanhada de informações sobre o provável potencial

hídrico associado ao depósito mapeado, na forma de uma hierarquização, auxiliaria na otimização de tempo e recursos, os quais poderiam ser canalizados para uma prospecção de detalhe, para fins de estimativas mais seguras sobre a disponibilidade hídrica.

O presente estudo visou propor metodologias de aplicação de ferramentas no âmbito do sensoriamento remoto e de um sistema geográfico das informações, associado às técnicas convencionais, no mapeamento regional e avaliação do potencial hidrogeológico de aluviões em áreas de ocorrência do embasamento cristalino no Estado do Ceará.

O estudo está centrado na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto orbital e levantamento "in situ" de características indicativas do potencial hidrogeológico dos aluviões. Como área de estudo foi selecionada a região abrangida pela Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará.

1.2 - Relevância do Projeto

O embasamento cristalino (rochas ígneas e metamórficas) perfaz mais de 70% da área superficial do Estado do Ceará. Esse ambiente geológico possui baixíssima vocação hidrogeológica. Se isto não bastasse, a grande maioria das águas subterrâneas, aí extraídas, (>60%) apresentam níveis de sólidos totais dissolvidos elevados, o que faz com que sejam classificadas como salobras ou salgadas. Essas características hidroquímicas se devem às características climáticas e a natureza do meio aquífero (fraturado).

Ao longo das drenagens desse embasamento se encontram corpos sedimentares, areno-argilosos, de origem fluvial, denominados aluviões. Os Depósitos aluvionares apresentam, normalmente, boas condições de recarga (infiltração), armazenamento e fluxo das águas subterrâneas, caracterizando-se, assim, em aquíferos de bom potencial hidrogeológico. Na região semi-árida, tem-se empregado técnicas, dentre as quais se destaca a construção de barragens subterrâneas, que aumenta, as disponibilidades hídricas desse meio.

Raros são os trabalhos de hidrogeologia a nível regional, no Ceará, que abordam especificamente os aluviões na área de domínio do cristalino. O Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Estudos de Base II (CEARÁ, 1991) enfoca pouquíssimo o assunto, e praticamente não apresenta dados sobre os aluviões nos municípios abrangidos pela Folha de Itapiúna, área alvo da pesquisa, fazendo menção somente aos poços (com vazões inferiores a 2 m³/h) construídos sobre litótipos metamórficos.

Apesar disso, muitos projetos que visam a ampliação da disponibilidade hídrica no Estado, em regiões de predomínio das rochas cristalinas, seja para o abastecimento público, seja para atendimento de empreendimentos econômicos (agrícolas ou industriais), procuram considerar as reservas de águas subterrâneas nos aluviões em suas projeções. Dentre estes se destaca os projetos Poços do Sertão e Caminhos de Israel, desenvolvidos pelas Secretarias de Desenvolvimento Rural (SDR) e da Agricultura e Pecuária (SEAGRI) do Estado do Ceará. O Projeto Poços do Sertão contempla a construção de mais de 5.000 poços, em zonas aluvionares, em 101 municípios, sendo que até agosto de 2003 já haviam sido feitos 3.240 poços. O Projeto Caminhos de Israel auxilia os pequenos agricultores na implementação de empreendimentos agrícolas.

Falta, ainda, um elemento básico que dê sustentabilidade as estimativas iniciais para estes projetos, ou seja, um mapa dos corpos aluvionares. O mapa, dando indicativo de localização e de dimensão destes mananciais, por si só, já seria um elemento útil no planejamento de ações prospectivas ou de implantações de novos empreendimentos. Este mapa daria aos gerenciadores um sustentáculo para tomadas de decisões, pois o conhecimento das reservas hídricas subterrâneas envolvidas permitiria estabelecer projeções e metas mais realísticas.

Esta é uma das demandas já apontadas pelas pastas do governo estadual, tais como as secretarias já citadas e a Secretaria de Recursos Hídricos. A linha metodológica apresentada nesta pesquisa deverá ser vista como um passo importante na concretização do mapeamento dos recursos hidrogeológicos, associados aos aluviões, do Estado, principalmente no domínio das rochas cristalinas. Assim, os estudos realizados abrem perspectivas promissoras para a continuidade da aplicação metodológica, em outras áreas do Ceará, com características geoambientais semelhantes.

A parceria com o Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará, através da inserção do tema da presente pesquisa no desenvolvimento de uma dissertação de mestrado de um aluno do programa de pós-graduação, deverá estimular novos pesquisadores nesta linha de pesquisa, principalmente na área de hidrologia das águas subterrâneas associada a depósitos aluvionares.

1.3 - Antecedentes

O mapeamento regional, de qualquer elemento terrestre, passa pela inspeção através de produtos de sensoriamento remoto. Atualmente, em se tratando de aluviões, tem-se utilizado a interpretação de fotografias aéreas, quando disponíveis

em escala compatível. A fotointerpretação é algo subjetivo, depende da habilidade do profissional que a realiza. Infelizmente, o Estado do Ceará não possui uma cobertura total em escala maior que 1:40.000. Isto faz com que o mapeamento de elementos com larguras inferiores a 80,0m, caso de grande parte dos corpos aluvionares, sejam de difícil delimitação. Outro fato a ser considerado é que, sendo a fotografia aérea um registro instantâneo, não permite uma inspeção temporal.

As imagens de satélite têm-se apresentado como fortes aliadas no mapeamento de elementos regionais. Tais produtos geram dados multiespectrais e multitemporais das feições terrestres (CHOUDHURY, 1999 – *Integrad remote sensing and GIS techniques for groundwater studies in part of Betwa basin*). Desde meados da década de 80, são muitos os trabalhos que usam os produtos de sistemas sensores orbitais de energia refletida como base na interpretação de alvos terrestres. As Ciências da Terra, dentre elas a Geologia e a Agronomia, têm acrescido enormes conhecimentos a partir de tais estudos.

Com o aprimoramento dos sistemas sensores, houve o aumento da resolução espacial (do terreno) dos imageadores (LANDSAT 7 até 15,0m, e SPOT 5 até 2,5m) que, somado a evolução das técnicas de análise computacional, vêm permitindo a geração de produtos de alta precisão na definição de alvos. A FUNCEME, nos últimos anos, através do seu Departamento de Recursos Ambientais (DERAM), vem desenvolvendo estudos com base nessa tecnologia, podendo-se citar: "Redimensionamento da Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil" e "Cobertura Vegetal e Antropismo no Estado do Ceará; uma abordagem utilizando imagens TM-Landsat".

O uso de dados obtidos a partir de sensores remotos para investigação hidrogeológica, constitui-se num elemento de inovação tecnológica, permitindo se obter, com certa facilidade, informações, tanto no domínio espacial como temporal, cruciais para o êxito das pesquisas.

Com efeito, a identificação de alvos vê-se facilitada com o estudo das assinaturas espectrais dos mesmos, em terra, com o auxílio de equipamentos denominados espectrorradiômetros, cujos dados captados permitem obter uma curva dos valores da radiância, numa determinada faixa do espectro eletromagnético. Estes dados permitem um refinamento dos produtos gerados a partir de técnicas de análise multiespectral de imagens de satélite. O emprego dessa metodologia está presente em muitos trabalhos que visam o estudo da biomassa e de solos, dentre outros. Estes equipamentos são considerados, hoje, o que há de mais moderno. Dentro dessa ótica, o seu emprego no projeto proposto, constitui-se numa inovação tecnológica, agregando um valor significativo ao

mesmo.

Na região semi-árida, os aluviões apresentam-se como zonas preferenciais para o desenvolvimento de espécies vegetais, naturais e cultivadas, dado a maior disponibilidade de água para as plantas. Assim, deve-se levar em conta, também, estes elementos quando da identificação dos corpos aluvionares. Algumas espécies vegetais podem, inclusive, funcionarem como bio-indicadores da qualidade das águas. Exemplo disso está na presença de carnaúbas (da família da palmeira) em áreas que apresentam, normalmente, salinidade elevada em suas águas subterrâneas. Assim, esses elementos serão enfocados quando da análise dos produtos de sensoriamento remoto da região a ser estudada.

Um elemento importante a se considerar, quando da análise das respostas espectrais, é o teor de água que interage com o alvo, ou seja, a umidade. A umidade é um elemento interferente na quantidade de energia refletida pelos alvos. Assim, quando da análise das respostas espectrais de alvos este detalhe deve ser levado em consideração. O Estado do Ceará se caracteriza por apresentar, no ano, dois períodos bem definidos em termos de precipitação: inverno, compreendido entre os meses de fevereiro e maio, com índices pluviométricos normais (200 a 400 mm/mês), e verão, de junho a janeiro, com baixos índices pluviométricos (<< 100 mm/mês).

Além do mapeamento dos corpos aluvionares, que fornece indicativos sobre a localização e a dimensão dos mesmos, outros elementos devem ser observados para a inferência sobre as características geométricas do pacote sedimentar. A elaboração de um Modelo Digital do Terreno, mais especificamente de elevação, com o respectivo mapa de declividades, quando elaborado em escala adequada, permite a apreciação de aspectos morfológicos, significativos para a inferência (qualitativa) de espessuras associadas aos depósitos aluvionares, além de expressar índices topográficos que possibilitam a identificação de áreas com maior propensão à geração de escoamento, elemento este importante na estimativa de zonas preferenciais de recarga para os aquíferos aluvionares.

A caracterização hidrogeológica dos aquíferos aluvionares está intimamente ligada, além de suas características geométricas, com as de seus constituintes. Sabe-se que quanto mais fina a granulometria dos sedimentos, menor será a capacidade desse meio em ceder água. A facilidade com que um meio permite a fluxo das águas subterrâneas é traduzido pela condutividade hidráulica. Este parâmetro se reveste de maior confiabilidade quando realizado "in situ". A FUNCEME, através de seu Departamento de Recursos Hídricos (DEHID), possui experiência na realização de trabalhos nesta área. Destacam-se, dentre outros, os

estudos das características hidráulicas de um trecho do aluvião do Rio Mundaú (Projeto "Estudo Integrado da Bacia Hidrográfica do Mundaú – Ceará", 1998); de avaliação do potencial hídrico realizados no trecho aluvionar do rio Palhano, em Ibicuitinga/CE (Projeto "Manejo Integrado de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos Aluviais" – FUNCEME/UFC, 1999); e de interação rio-aquífero (Projeto "Perdas de Água em Trânsito em Rios Perenizados do Semi-Árido", 2002), realizado em trechos do Rio Juazeiro, em Coreaú/CE.

Um mapa dos corpos aluvionares, como ferramenta efetiva no conhecimento hidrogeológico, deve conter os elementos supracitados, ou seja: localização, aspectos dimensionais e características hidráulicas. Estas características, somadas, devem permitir uma avaliação regional do potencial hidrogeológico dos aquíferos aluvionares na região focada.

Assim, o presente estudo aplicou técnicas de sensoriamento remoto, analisando produtos de sensores numéricos terrestres (espectrorradiômetro) e imageadores orbitais (LANDSAT, ASTER e SPOT) que, somado às análises "in situ" das características hidráulicas, e das análises baseadas no princípio de sistema de informações georreferenciadas, possibilitaram a geração de uma carta de estimativa do potencial hidrogeológico dos aquíferos aluvionares da região de estudo, que abrange a Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará. Espera-se que este produto possa servir de modelo para geração de novas cartas, que auxilie na orientação de decisões no âmbito do uso dos recursos hídricos subterrâneos em áreas de domínio do embasamento cristalino, em regiões semi-áridas.

A Região de Itapiúna, local da pesquisa, situa-se na porção central do Estado do Ceará. É uma região que sofre durante os períodos de estiagem com a escassez ou mesmo a falta de recursos hídricos, obrigando o governo estadual a lançar mão de carros-pipa para abastecer as populações. Nesses períodos de falta d'água, a agricultura e a atividade pecuária enfrentam dificuldades fortes, pois a escassez de água, também para os rebanhos, impõe prejuízos elevados, e forçando a mudança das pessoas que vivem dessa atividade econômica. Um elemento importante que norteou a escolha dessa área foi a existência de um mapa geológico/estrutural (NUCLEBRAS/CEMINAS, 1984), na escala 1:100.000. Apesar do foco principal da presente proposta ser o estudo dos depósitos aluvionares, não se deve perder de vista a íntima associação que tais depósitos possuem com elementos da geologia estrutural.

1.4 - Objetivos do Projeto

O projeto foi concebido com o intuito de mapear e avaliar o potencial hídrico

subterrâneo dos aluviões, na região abrangida pela Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará, com vistas à otimização dos processos de determinação das disponibilidades hídricas em zonas do semi-árido do Ceará. Mais especificamente, buscou-se, através do projeto, os seguintes objetivos:

- Estudar a resposta espectral dos sedimentos aluvionares, do embasamento cristalino, e das coberturas vegetais associadas, em ambiente semi-árido;
- Comparar produtos gerados por imagens de diferentes resoluções espaciais (LANDSAT 7, ASTER e SPOT 5);
- Realizar estimativas de potencial hidrogeológico em aluviões da área de estudo;
- Estabelecer critérios para uma classificação hierárquica dos aluviões, no aspecto hidrogeológico;
- Indicar uma metodologia para o mapeamento dos corpos aluvionares em áreas de embasamento cristalino.

1.5 - Organização dos Capítulos

A introdução deste trabalho apresenta uma contextualização do problema das águas, principalmente subterrâneas, nas áreas de ocorrência do embasamento cristalino no Ceará. Mostra-se a importância desse trabalho, e de outros trabalhos já realizados, no âmbito do conhecimento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos nesta ambiência geológica.

O Capítulo 2 descreve os principais aspectos geoambientais da área de estudo, dando ênfase a caracterização hidroclimatológica, pois este elemento é de suma importância na estimativa das reservas hídricas da região.

No Capítulo 3 é apresentado os trabalhos realizados para identificar os corpos aluvionares. É feito, inicialmente, uma revisão bibliográfica sobre aspectos pertinentes a área de Sensoriamento Remoto, base do estudo relacionado ao mapeamento dos aluviões. É mostrada a metodologia utilizada, assim como os resultados obtidos a partir das classificações (diversas técnicas) em cada tipo de imagem usada. Esse capítulo teve por base a dissertação de mestrado desenvolvida por FRANCISCO DE ASSIS JORGE DE OLIVEIRA (Oliveira, 2006), submetida à Coordenação do Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil/Área de Concentração em Recursos Hídricos, da Universidade Federal do Ceará, tendo como orientador o Prof. Dr. Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins.

O Capítulo 4 faz uma abordagem clássica dos aspectos hidrogeológicos

inerentes aos aquíferos aluvionares. Além dos aspectos teóricos são apresentados os trabalhos de campo realizados na área do projeto e os produtos obtidos a partir do tratamento dos dados coletados. Por fim, uma proposta de hierarquização dos aquíferos aluvionares é apresentada.

A Conclusão, descrita no Capítulo 5, expõe algumas dificuldades e observações sobre os resultados alcançados perante aos vários métodos usados na classificação dos aluviões.

Finalmente, no Capítulo 6, recomendam-se algumas diretrizes para o aprofundamento deste trabalho e novas linhas de pesquisas relacionadas com este trabalho.

Vários trabalhos foram consultados e referenciados, e encontram-se relacionados nas referências bibliográficas ao final deste estudo.

Os mapas, fichas das descrições individuais de cada furo de sondagem, assim como as fichas dos ensaios de permeabilidade realizados em campo estão relacionados no Anexo.

CONFIGURAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA

2 - CONFIGURAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 - Localização e Acesso

A área de estudo deste projeto é a Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará (SDN/MI, 1972), de coordenadas $4^{\circ}30'S / 39^{\circ}00'W$ e $5^{\circ}00'S / 38^{\circ}30'W$. Doravante chamada de Folha Itapiúna. Esta é composta pelo município de Ibaretama na íntegra e parcelas das áreas dos municípios de Aracoíaba, Baturité, Capistrano, Ibaretama, Ibicuitinga, Itapiúna, Quixadá, Morada Nova e Ocara. Perfaz uma área total de aproximadamente 3.000 km^2 em 9 municípios e dista, aproximadamente, 100 km de Fortaleza, capital do Estado do Ceará. A Figura 2.01 mostra a localização da Folha Itapiúna no Estado do Ceará e a Figura 2.02 apresenta os municípios que estão contidos na área da mesma.

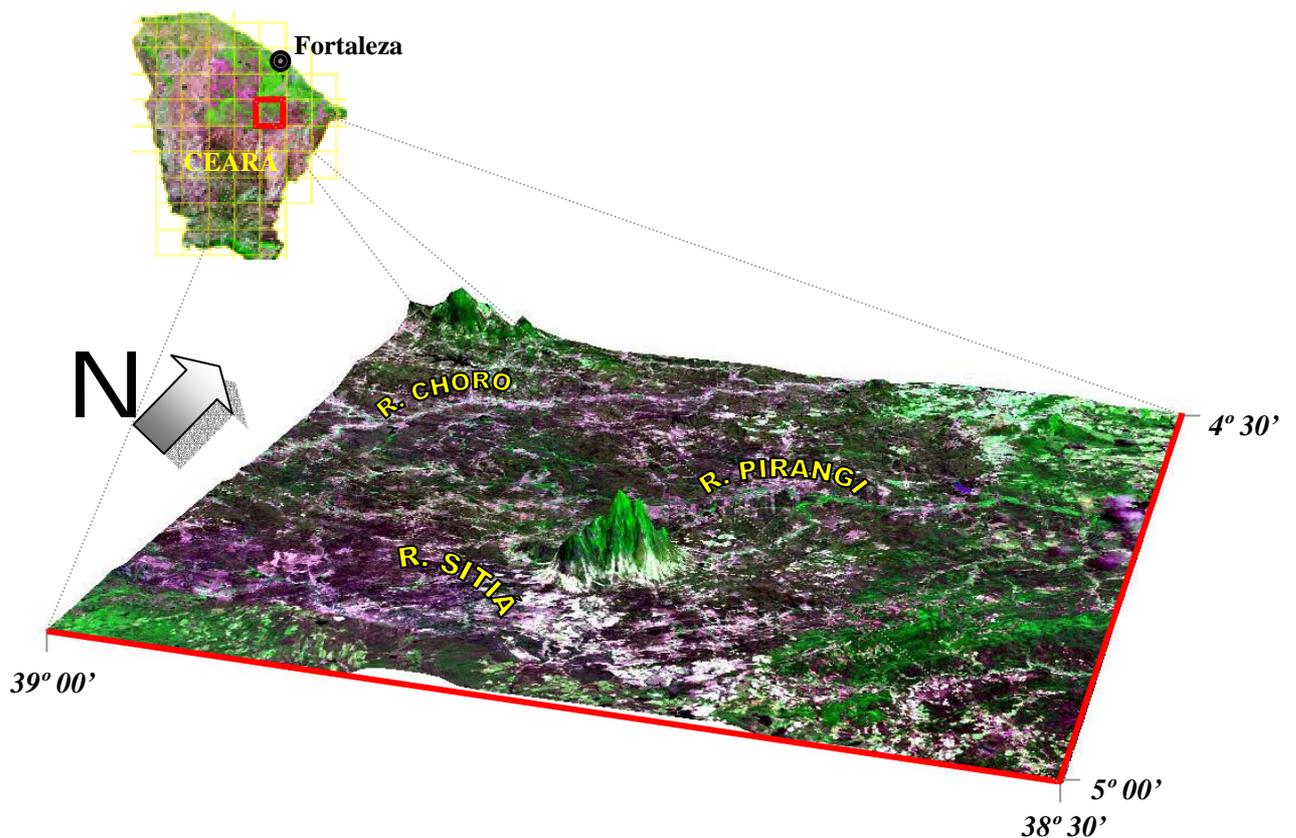


Figura 2.01 – Localização da Folha Itapiúna no Estado do Ceará.

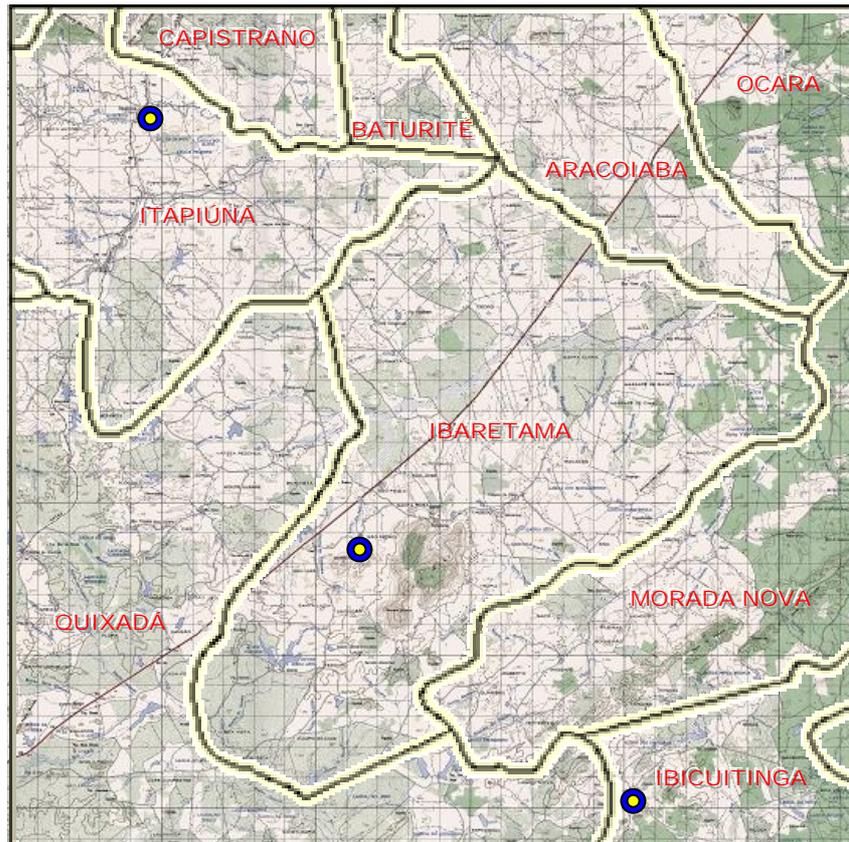


Figura 2.02 – Municípios localizados na Folha Itapiúna.
(● = sede municipal)

O acesso à área de estudo pode ser realizado em quatro rotas dependendo do município de destino: 1) saindo de Fortaleza pela CE – 060, passando por Aracoiaba, Baturité, Capistrano, Itapiúna e Quixadá; 2) saindo de Fortaleza pela BR – 116 e posteriormente na BR – 122 indo para Ocara, Ibaretama e Quixadá; 3) saindo de Fortaleza pela BR – 116 e posteriormente acessando a CE – 138 com destino a Morada Nova; 4) saindo de Fortaleza pela BR – 116, seguindo a CE – 138 e CE – 265 até Ibicuitinga e Quixadá. A Figura 2.03 apresenta em detalhe as quatro rotas descritas acima.

2.2 - Hidrografia

A hidrografia contida na Folha Itapiúna pode ser dividida em três grandes rios: Choró, Pirangi e Sitiá. As delimitações das bacias e o contorno da Folha Itapiúna são apresentados na Figura 2.03. A Figura 2.04 mostra em detalhe a localização da macro-drenagem e o relevo.

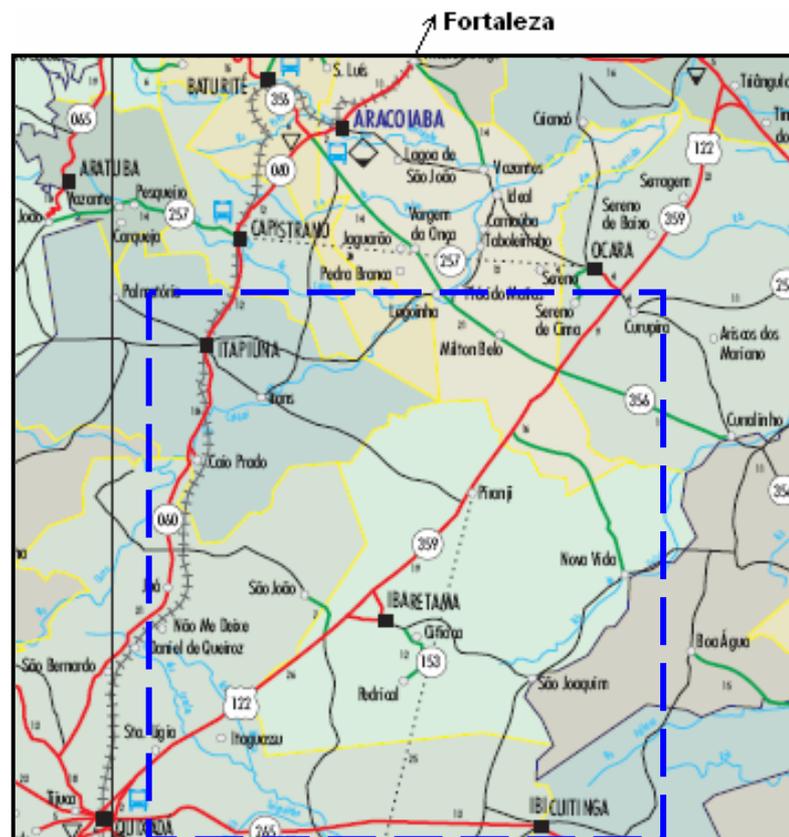


Figura 2.03 - Acesso aos municípios onde foi feito o trabalho (Fonte: DERT – Mapa Rodoviário do Ceará, 2005).

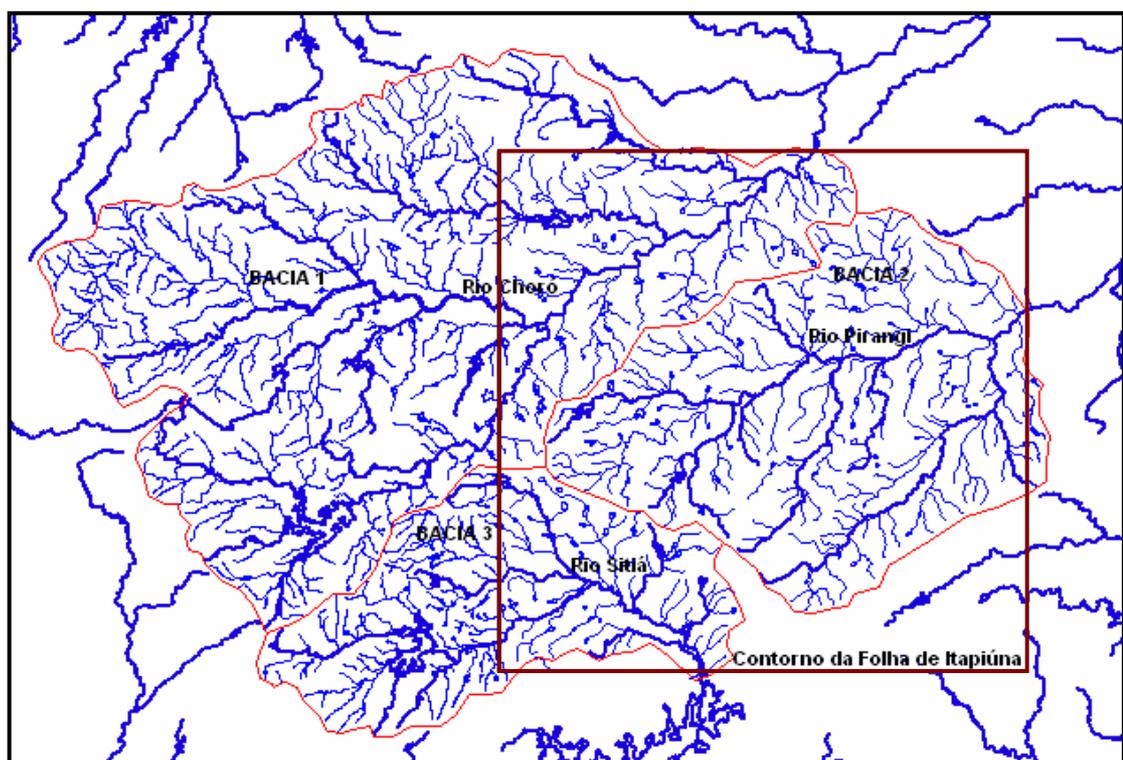


Figura 2.04 – Hidrografia e delimitações das bacias hidrográficas formadas pelos principais rios localizados na Folha Itapiúna.

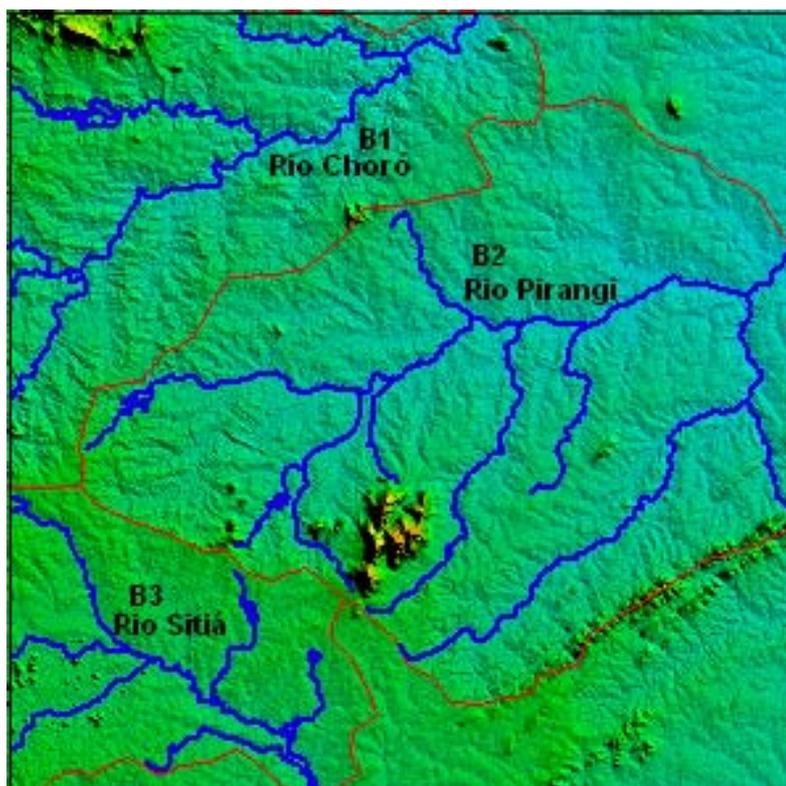


Figura 2.05 - Localização da macro-drenagem em conjunto com a conformação do relevo.

2.3 - Solos

Os solos desta região são formados predominantemente por PLANOSSOLO SOLÓDICO (54%) e PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO (34%) e parcelas menores REGOSSOLO, SOLONETZ SOLODIZADO, ALUVIÃO, LITÓLICO EUTRÓFICO e LITÓLICO EUTRÓFICO E DISTRÓFICO; como é apresentado na Figura 2.06. Esta formação caracteriza a folha com uma capacidade de armazenamento de água no solo com valor de 84 mm. O uso do solo é feito basicamente pela agricultura para as culturas anuais, temporárias e permanentes com 66%, e por vegetação natural (matas e capoeiras) com 29%. A distribuição espacial destes usos pode ser observada na Figura 2.07.

- PLANOSSOLO SOLÓDICO

São solos típicos de áreas baixas, onde o relevo permite excesso de água permanente ou temporário, ocasionando fenômenos de redução que resultam no desenvolvimento de perfis com cores cinzentas indicativas de gleização. Uma característica marcante destes solos é a presença de horizonte superficial aluvial de textura arenosa ou média, que contrasta abruptamente com o horizonte subjacente B, de elevada concentração de argila. Em geral, são solos mal ou imperfeitamente

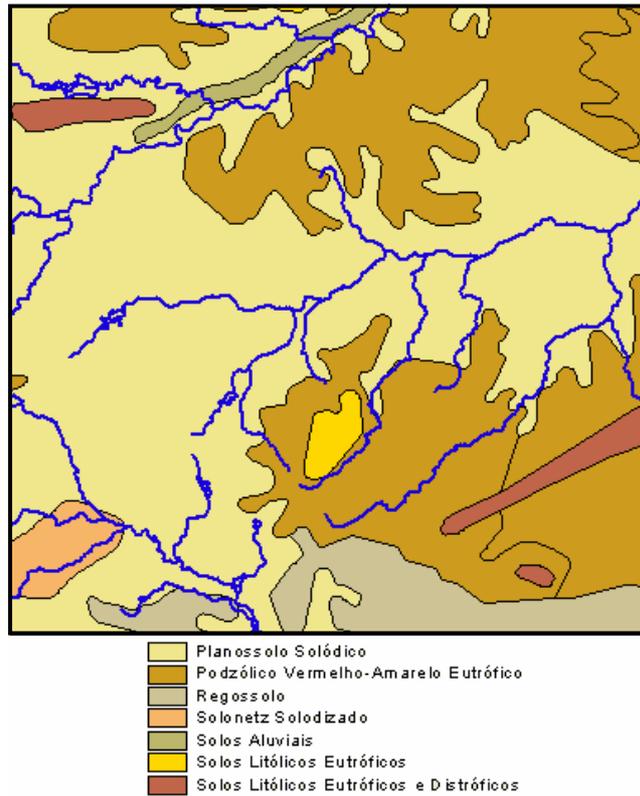


Figura 2.06 – Distribuição espacial dos diversos tipos de solos contidos na região de estudo.

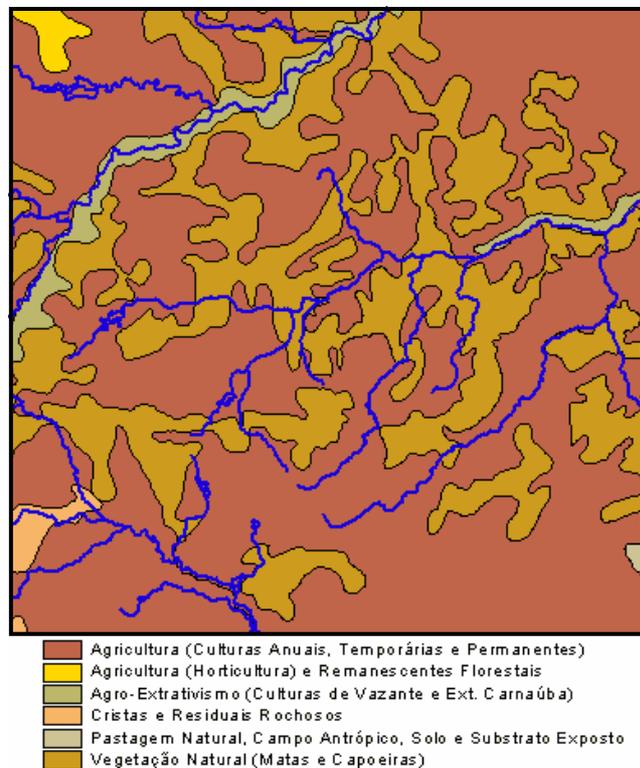


Figura 2.07 – Distribuição espacial da vegetação contida na região de estudo.

drenados, com seqüência de horizonte A, Bt e C. O horizonte A é do tipo moderado, quase sempre apresentando A₂. O horizonte B usualmente tem argila de atividade alta. São derivados de sedimentos aluvionares referentes ao período Quaternário, principalmente, provenientes de arenitos e siltitos. A principal limitação ao uso agrícola destes solos diz respeito a sua má drenagem, dificultando o manejo pelo excesso de umidade. Vêm sendo adequadamente utilizados com arroz irrigado, com pastagens, observando-se, igualmente, cultivos de soja em áreas de melhor drenagem. Estão sob vegetação de Floresta Estacional Decidual e Savana. A classificação como "solódico" diferem quimicamente por apresentar saturação com sódio trocável com valores compreendidos entre 6 e 15,0 % no horizonte B e/ou C. Derivam-se de sedimentos lacustres, aluviais e de arenitos arcoseanos mal consolidados do Quaternário.

- PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO

São solos minerais, não hidromórficos, pouco profundos a profundos (50-200 cm), caracterizados pela presença de um horizonte B textural de coloração vermelho-amarelada nos matizes 5YR, 7,5YR ou 10YR. Normalmente possuem um horizonte A moderado, de cor clara, reflexo da perda de argila e materiais corantes para o horizonte B. O horizonte B geralmente apresenta acúmulo significativo de argila, acompanhado ou não de cerosidade. A relação textural na maioria dos casos é superior a 1,5 e, quando estes valores são menores, o solo deve necessariamente apresentar cerosidade pelo menos moderada e comum para ser enquadrado na classe. Normalmente apresentam transições claras ou abruptas entre os horizontes A e B, com cores claras no A e colorações mais vivas no B. Quanto à textura, apresentam inúmeras variações: arenosa/média, arenosa/argilosa, média/argilosa ou mesmo textura argilosa no A e B. Neste último caso, a transição é menos clara e a relação textural mais baixa. Dependendo do material de origem, podem apresentar cascalho ao longo do perfil. Da mesma forma, a fertilidade natural é muito variável, admitindo-se nesta classe a ocorrência de perfis álicos, distróficos e eutróficos. A grande maioria deles, entretanto, é distrófico ou álico, apresentando quase sempre argila de atividade baixa (Tb). Estes solos podem desenvolver-se de diferentes materiais de origem, porém são sempre pobres em ferro. Nunca se desenvolvem, portanto, sobre rochas básicas (basalto, por exemplo). Este fato é responsável pelos baixos teores totais de óxidos de ferro que apresentam, cujos valores situam-se normalmente na faixa de 5 a 10,0% de Fe₂O₃. Ocorrem em áreas de relevo desde o suave ondulado até o forte ondulado, sob vegetação de Floresta Estacional Decidual e Semidecidual e Savana. São utilizados, principalmente, com pastagens e culturas de subsistência.

2.4 - Cobertura Vegetal

A vegetação é caracterizada basicamente pela caatinga arbustiva densa cobrindo 96% da área e o resto é dividido com complexos vegetacional da zona litorânea (0,2%), mata seca (2,1%) e caatinga arbórea (1,6%).

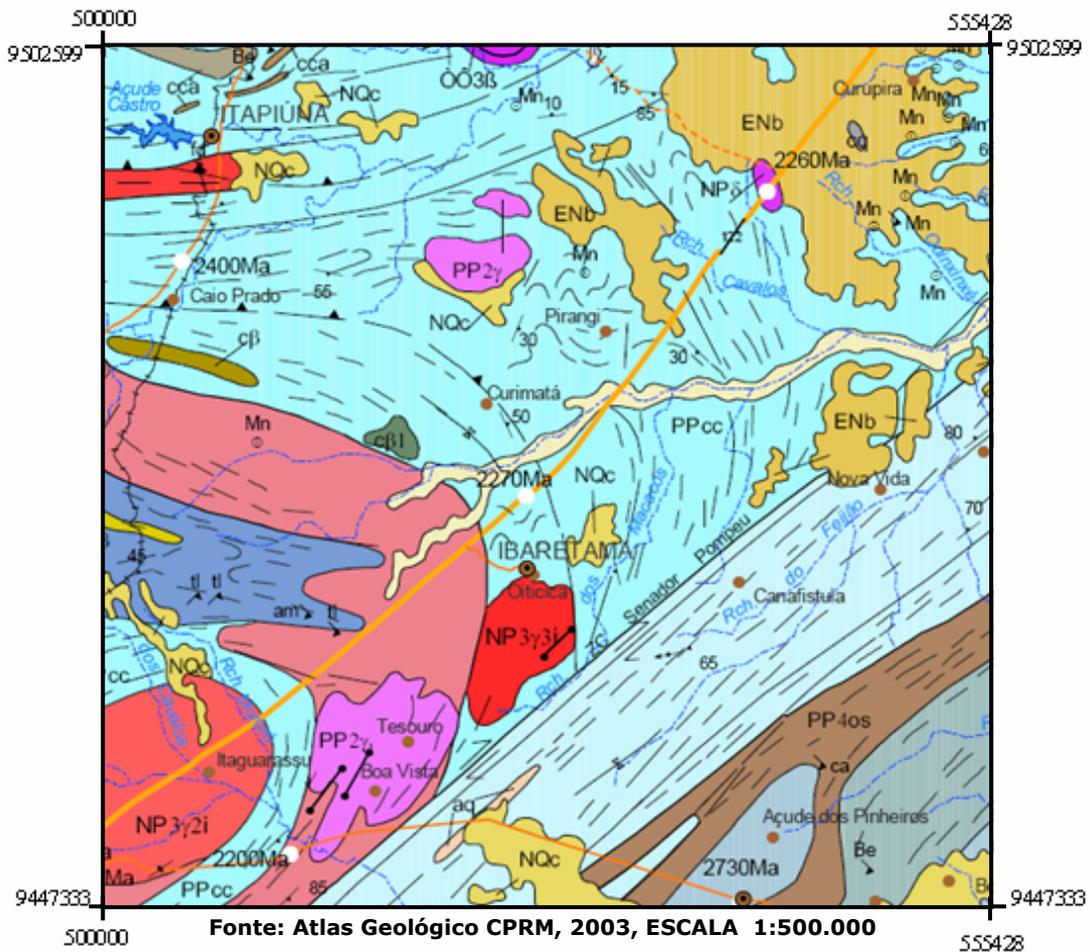
A caatinga é um tipo de formação vegetal com características bem definidas: árvores baixas e arbustos que, em geral, perdem as folhas na estação das secas (espécies caducifólias), além de muitas cactáceas. A caatinga apresenta três estratos: arbóreo (8 a 12 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e o herbáceo (abaixo de 2 metros). Contraditoriamente, a flora dos sertões é constituída por espécies com longa história de adaptação ao calor e à seca. É incapaz de reestruturar-se naturalmente se máquinas forem usadas para alterar o solo. A degradação é, portanto, irreversível na caatinga. Os solos que compõem o ecossistema da caatinga são arenosos ou areno-argilosos, pedregosos e pobres em matéria orgânica. Dentre as espécies vegetais mais comuns da caatinga, estão a jurema, o umbuzeiro, o marmeleiro, o mandacaru, o xique-xique, a faveleira e o pinhão-bravo.

Vale a pena salientar ainda a vegetação de várzea das planícies fluviais, onde se destaca a carnaúba (*Copernicia prunifera*), nas zonas de solos salinizados, e a vegetação típica ribeirinha, com presença de vegetação de médio a grande porte. Árvores frutíferas, como a mangueira, se destacam na paisagem. O domínio de solos aluviais, com melhores condições de fertilidade natural e maior disponibilidade hídrica, favorece a utilização das várzeas com culturas diversas.

O agrupamento de áreas dotadas de condições naturais homogêneas que apresentam especificidade quanto às combinações mútuas dos fatores naturais compõem os Sistemas Geoambientais. Com o apoio dos resultados das pesquisas bibliográficas, da análise e interpretação das imagens de satélite, foram identificados os Sistemas Geoambientais da área. Os geoambientes que compõem a Folha estão divididos da seguinte forma: serras secas (3%), glaciais de acumulação (8%), sertão centro-ocidental (33%) e sertão pré-litorâneo (57%).

2.5 - Aspectos Geológicos e Lito-estruturais

Geologicamente, a área do projeto é representativa do domínio do Embasamento Cristalino. A Figura 2.08 apresenta o mapa geológico, na escala 1:500.000, da Folha Itapiúna. As principais unidades geológicas são descritas no Quadro 2.01 (legenda).



GEOLOGICAS		CONVENÇÕES	
	Contato		Antiforma
	Falha normal		Antiforma mergulhante
	Fratura		Antiforma revirada
	Zona de cisalhamento ou falha indiscriminada, tracejada onde duvidosa		Sinforma
	Zona de cisalhamento (ZC) contracional		Sinforma mergulhante
	Zona de cisalhamento transcorrente contracional		Sinforma duplamente mergulhante
	Zona de cisalhamento transcorrente à direita		Sinforma revirada
	Zona de cisalhamento transcorrente à esquerda		Foliação com mergulho indicado
	Vila e povoado		Foliação com mergulho médio
	Sede municipal		Foliação vertical
	Capital		Lineação mineral ou de estriamento com caimento indicado
	Limite Interestadual		Lineação mineral ou de estriamento com caimento médio
	Linha de costa		Dique e Sill
	Porto e Aeroporto		Lineamentos estruturais
			Rodovia federal pavimentada
			Rodovia federal implantada
			Rodovia estadual pavimentada
			Rodovia estadual implantada
			Rodovia municipal pavimentada
			Rodovia municipal leito natural
			Ferrovia
			Rio e riacho intermitentes
			Açude, barragem, lago, lagoa.
			Rio perenizado
			Isóbata

Figura 2.08 – Mapa geológico-estrutural da Folha Itapiúna (1:500.000)

Segundo o mapa acima, do ponto de vista estrutural, os principais falhamentos são a Falha de Senador Pompeu e a de Sabonete-Inharé (transcorrentes). Outras de menor proporção, mas não menos importantes, são as Falhas de Serrote Preto (normal) e Itapiúna (normal) que compõem uma estrutura em Graben (a NW da Folha) e as de Caio Prado e Itans (ambas de empurrão do Sul para Norte).

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA	
ERA	PERÍODO	IDADE (M.a)		
Cenozóica	Quaternário (Q)	1,75	Q2a	Depósitos aluviais (localmente coluviais): argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não cascalhos e argilas orgânicas/fluviais, em parte com influência marinha.
	Neogeno (N)	23	NQc	Coberturas sedimentares de espriamento aluvial (inclui capeamentos de planaltos e coluviões holocênicos): sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tons alaranjado, avermelhado e amarelado; apresentam-se, em certos locais, cascalhos e laterizados na base (geralmente, o cimento é argiloso e ferruginoso) / fluvial
	Paleogeno (E)	65	ENb	Indiviso: arenitos argilosos de tonalidade variegada (amarelada, avermelhada e esverdeada), matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, ferruginoso e, às vezes, silicoso; granulação fina a média, com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base (pode-se encontrar, no topo, areias silticas bem classificadas) / sistema fluvial com esporádicas corridas de lamas
Meso zóico	Cretácio Jurássico Triássico	250		
Paleo zóico	Cambriano	450		
Neoproterozóico		1000	NP3, 3i	Indiferenciada: granitóides cinzentos, geralmente de granulometria média a grossa (fácies porfírica subordinada), de composição granítica dominante, em parte com enclaves dioríticos, em jazimentos individualizados ou embutidos nos corpos dos NP3y2, onde ocorrem como uma fase mais nova.
			NP3, 2i	Suíte granitóide Itaporanga: granitos e granodioritos de granulação grossa e porfíricos, à biotita +/- anfibólio, associados a dioritos e fases intermediárias de misturas; monzogranitos subordinados.
			NP6	Dioritos associados à fácies gabríticas e, subordinadamente, granitóides.
Proterozóico Médio		1600		
Paleoproterozóico		2500	PP4os	Formação Santarém: micaxistos diversos (biotita, muscovita, granada, estauroлита, andaluzita, silimanita), localmente com estreitas intercalações de metamagmatitos ácidos a básicos; quartzitos (osq), localmente feldspáticos ou granadíferos, por vezes associados a metachertes ferríferos e mica-quartzo xistos; filitos, metassilitos, metacarbonatos (metacalcários a metadolomitos/magnesitas - osca) e rochas calcissilicáticas / marinho, transicional-lagunar
			PP2, 7	Ortognaisses granito-granodioríticos, acessoriamente tonalíticos, em parte facoidais e/ou associados a migmatitos
			PPcc	Unidade Cariré: paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos (p.ex: em cogn) e rochas metabásicas: cβ - metagabros, anfibolitos com ou sem granada, e gnaisses dioríticos, associados ou não a enderbitos; c1 β - metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos (cq), metacalcários (cca), rochas calcissilicáticas (ccs), formações ferríferas (cfe) e ferro-manganesíferas, além de metaultramáficas (c μ); cgnl - granulitos máficos, enderbitos e leptinitos; caf - anfibólio gnaisses e/ou anfibolitos; PP(NP)cc - tratos onde são comuns os jazimentos estratóides e diqueiformes de granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não e, em parte, facoidais.
			PPa	Unidade Acopiara: paragnaisses e ortognaisses, parcialmente migmatíticos, incluindo, subordinadamente, micaxistos grafitosos, anfibolitos, rochas calcissilicáticas (aqa), por vezes scheelitíferas, metaultramáficas e quartzitos (aq); PPag - segmento com participação de ortognaisses graníticos e tonalíticos, de tonalidades cinzentas cortados por diques de rochas básicas metamorfozadas.
			PPj	Complexo Jaguaretama: ortognaisses migmatizados, composição entre granito e tonalito, com paragnaisses, anfibolitos, quartzitos, metaultramáficas e rochas calcissilicáticas (PPjgn - segmento com importante participação desses metamórficos de derivação sedimentar, incluído lentes de metacalcários (jca)
			PPad	Unidade Algodões: paragnaisses diversos, em parte de protólito arcoseano, metabasaltos, anfibolitos, metaultramáficas e formações ferríferas, por vezes associados a sheets e diques de ortognaisses leucocráticos emesotipos; adb - anfibolitos e/ou gnaisses associados, em parte, a gnaisses dioríticos e metaultramafitos
Arqueano			APczm	Unidade Mombaça: ortognaisses granodioríticos, graníticos e tonalíticos, geralmente cinzentos, e migmatitos, dominando sobre anfibolitos, metagabros, metaultramáficas, chanockitos (raros), metacalcários e rochas calcissilicáticas (czm - segmento com importante participação de ortognaisses granodioríticos paleoproterozóicos)

Quadro 2.01 – Principais unidades litoestratigráficas da Folha Itapiúna.

A Folha Itapiúna está inserida quase que totalmente no Domínio Tectônico Ceará Central ficando uma pequena porção no SW da Folha no Domínio do Rio Grande do Norte (Figura 2.09), mais precisamente, no Sistema Jaguaribe- Orós, muito bem estudado por Parente et al (1995). Este sistema é dividido em 2 (duas) porções sendo uma N-S (a do Bloco Jaguaretama) e outra E-W (do Bloco São Nicolau).

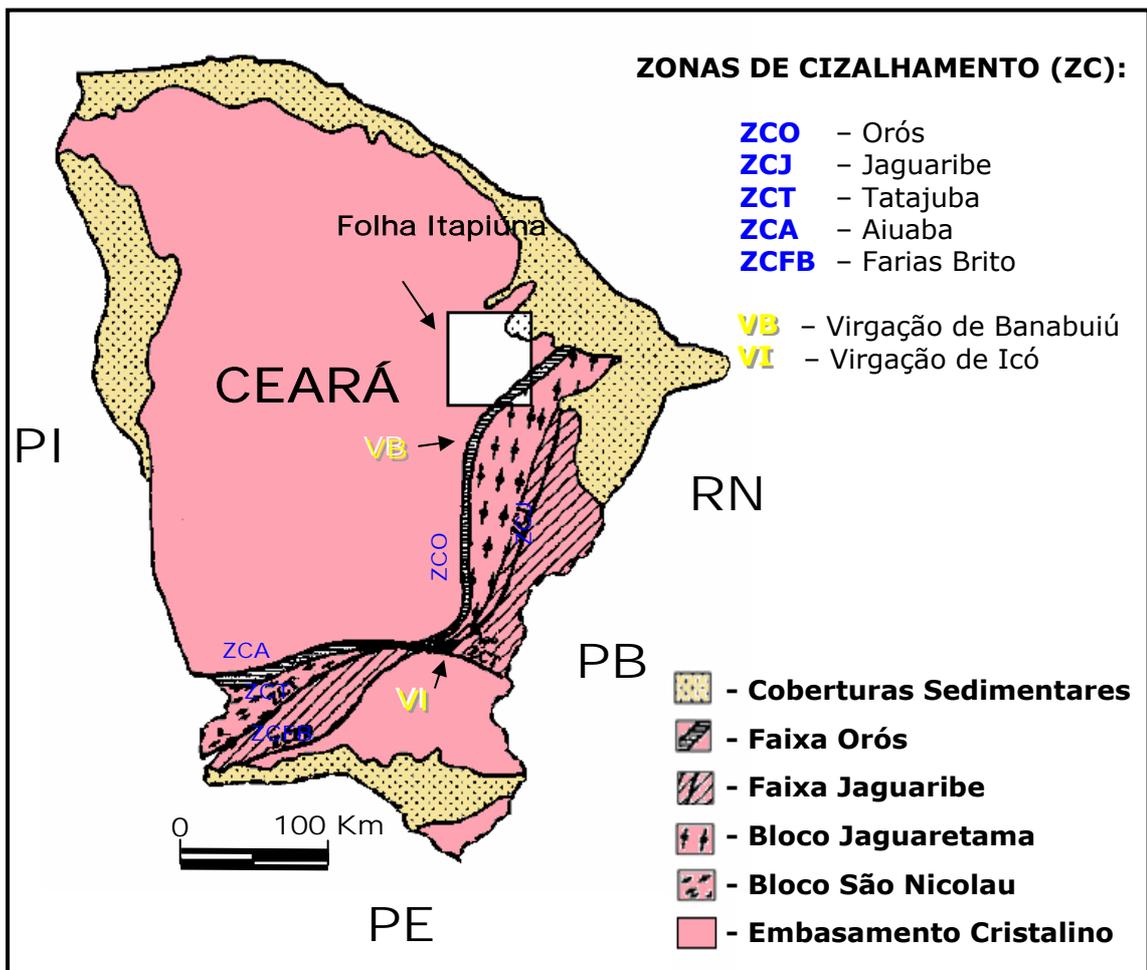


Figura 2.09 – Sistema Jaguaribe-Orós (modificado, in Parente et al. 1995).

Segundo Parente et al (op. cit.), o Sistema Jaguaribe-Orós é uma unidade geotectônica ímpar dentro do domínio da Borborema. Ele é composto por 2 (duas) faixas lineares móveis, cuja evolução iniciou-se em torno de 1,9 Ga sobre um embasamento mais antigo, metamorfisado em fácies anfibolito alto e marcado por uma deformação tangencial. Dentro da Folha Itapiúna merecem destaque a Faixa de Orós e uma pequena porção do Bloco Jaguaretama.

A Faixa Orós apresenta uma tectônica transcorrente e um metamorfismo de fácies anfibolito baixo, abaixo da cidade de Banabuiú, e anfibolito alto a granulito,

acima. Do ponto de vista litoestratigráfico, nas proximidades dos limites da Folha Itapiúna (Faixa Orós e Bloco Jaguaretama) ressalta-se a presença de diques básicos, não deformados e não metamorfisados, pós-tectônicos e de idade mesozóica, os quais intrudem todas as unidades litoestratigráficas precedentes.

2.6 - Caracterização Hidroclimatológica

De modo geral, o clima desta região do estado se apresenta bastante homogêneo classificado como Tropical Quente Semi-Árido com exceção do clima Tropical Quente Sub-Úmido concentrado na região de Baturité.

- Tropical Quente Semi-Árido

Este clima é típico de sertão nordestino. Essa área funciona como um centro dispersor de massas de ar, apresentando menores médias pluviométricas que as vigentes no resto do país. As chuvas não ultrapassam a barreira dos 750 mm/ano e apresentam-se irregularmente distribuídas.

No verão ocorre a penetração da massa Equatorial continental, que já perdeu grande parte da umidade. Devido às chuvas resultantes da atuação da massa Equatorial, os habitantes da região chamam esta estação de "inverno". No inverno de verdade, ocorre o avanço da massa Tropical atlântica, estável, pois já perdeu muito de sua umidade nas áreas serranas próximas ao litoral. A famosa seca ocorre quando nenhuma destas massas de ar traz chuvas durante período longos, de um ano ou mais. (do site: www.Geoclick.rg3.net – Prof. Gefferson Sbruzzi)

- Tropical Quente Sub-Úmido

O clima tropical caracteriza-se por apresentar invernos secos e verões chuvosos. A pluviosidade média anual situa-se em torno dos 1.500 mm. No verão, ele é dominado pela massa Equatorial continental e pela massa Tropical atlântica. O calor do continente aquece as bases destas massas de ar, provocando um movimento ascensional da atmosfera e favorecendo a instabilidade e a ocorrência de pancadas de chuvas (convectivas).

No inverno, a massa Equatorial recua, limitando a sua esfera de influência à Amazônia. A massa Polar atlântica avança e se divide em dois ramos. O primeiro deles penetra pelo Pantanal em território brasileiro causando ondas de frio no Centro-Oeste e, as vezes se estende até o Norte provocando a "friagem". O segundo avança pela calha do rio Paraná, provocando geadas ocasionais no Estado de São Paulo. O avanço da massa de ar polar provoca um fenômeno conhecido como frente fria: o ar frio desloca a massa Tropical atlântica e permanece

estacionário, causando declínios acentuados na temperatura. O encontro de duas massas de ar diferentes provoca as chuvas frontais.

Os planaltos e serras do Sudeste costumam apresentar médias térmicas menores que o conjunto da área abrangida pelo Clima Tropical devido a altitude. Muitos autores utilizam o termo Tropical de Altitude para designar o clima desta região (do site: www.Geoclick.rg3.net –Prof. Gefferson Sbruzzi).

Os dados climatológicos foram observados através de estações pluviométricas com área de influência na Folha Itapiúna sendo 16 da SUDENE e 15 da FUNCEME, plataforma de coletas de dados (PCD's) de Ibaretama do tipo agrometeorológica administrada pela FUNCEME e a estação climatológica do INMET localizada no município de Morada Nova. Estas estações fornecem dados de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos, precipitação e evaporação medida em tanque Classe "A".

A distribuição espacial das estações acima citadas pode ser observada na Figura 2.10. Já nas Tabelas 2.01 e 2.02 podem ser observadas as características das estações pluviométricas da FUNCEME e da SUDENE, respectivamente.

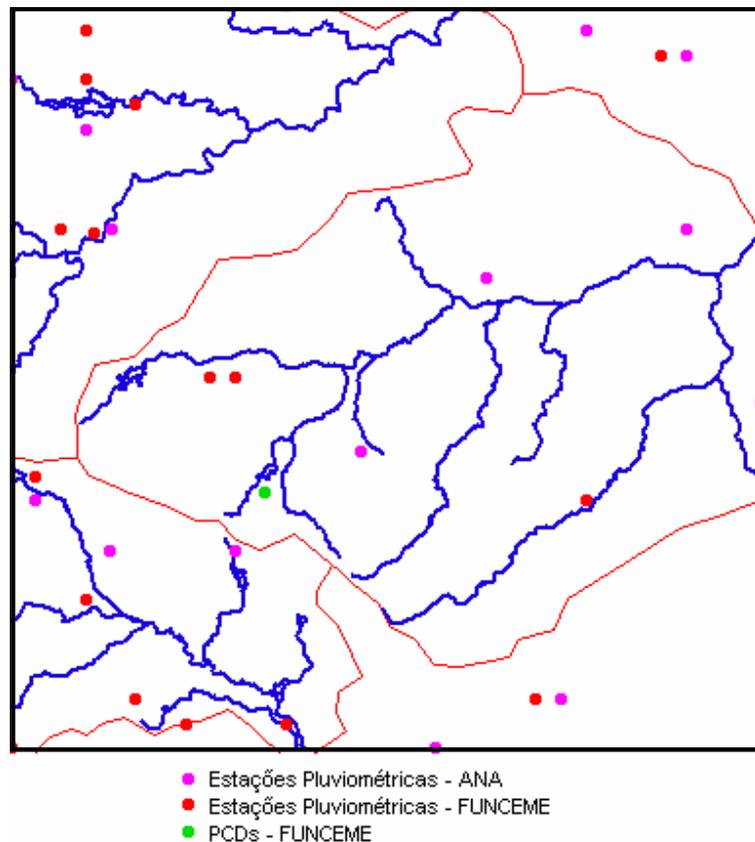


Figura 2.10 - Distribuição espacial das estações pluviométricas e PCD localizada na Folha Itapiúna.

Tabela 2.01 – Caracterização dos postos pluviométricos controlados pela FUNCEME na Folha Itapiúna (coordenadas em UTM).

<i>CÓDIGO</i>	<i>MUNICÍPIO</i>	<i>POSTO</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>LATITUDE</i>
69	Itapiúna	Itapiúna	505546	9493387
161	Ocara	Sereno de Cima	542526	9500746
162	Ocara	Curupira	549921	9498899
165	Ocara	Arisco Dos Marianos	549912	9486002
187	Itapiúna	Caio Prado	507394	9486018
202	Ibicuitinga	Ibicuitinga	540651	9451003
241	Itapiúna	Palmatória	500000	9497072
251	Pereiro	Daniel de Queiros	507392	9462068
282	Ibaretama	Pirangi	535122	9482326
284	Aracoiaba	Vila Pedra Branca	520339	9502597
379	Quixadá	Daniel de Queiroz	501848	9465753
432	Morada Nova	Boa Água	555449	9473102
493	Quixadá	Cipó dos Anjos	531410	9447323
544	Ibaretama	Ibaretama	525875	9469433
685	Ibaretama	Fazenda Niterói	516632	9462066

Tabela 2.02 – Caracterização dos postos pluviométricos controlados pela ANA na Folha Itapiúna (coordenadas em UTM).

<i>CÓDIGO</i>	<i>MUNICÍPIO</i>	<i>POSTO</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>LATITUDE</i>
438014	Morada Nova	Boa Água	542503	9465745
438017	Itapiúna	Caio Prado	503693	9486018
438023	Ocara	Curupira	548068	9498904
438024	Quixadá	Daniel de Queiroz	501852	9467591
438025	Quixadá	Fazenda Santa Maria	520321	9449173

(continua)

(continuação)

<i>CÓDIGO</i>	<i>MUNICÍPIO</i>	<i>POSTO</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>LATITUDE</i>
438030	Quixadá	Ibicuitinga	538803	9451000
438032	Itapiúna	Itapiúna	505547	9497072
438035	Quixadá	Olho D'Água	516635	9474963
438041	Baturité	Passagem Funda	524040	9502596
438044	Itapiúna	Riachão	505547	9500753
438045	Quixadá	Salva Vidas	509235	9451010
438046	Quixadá	São Francisco	505544	9458383
438048	Quixadá	Várzea da Onça	512938	9449175
438054	Itapiúna	Itapiúna	509240	9495226
438055	Quixadá	Várzea Nova	514783	9474963
438061	Itapiúna	Caio Prado	506222	9485675

O regime pluviométrico da região é caracterizado pela heterogeneidade temporal, verificando-se uma concentração da precipitação no primeiro semestre do ano, e uma forte variação inter-anual. Geralmente, a estação chuvosa tem início no mês de janeiro e se prolonga até junho. O trimestre mais chuvoso é o de fevereiro/abril ou o de março/maio, respondendo por 65,0 a 70,0% da precipitação anual. No semestre janeiro/junho este índice supera 90,0% (COGERH, 2001). As precipitações médias anuais oscilando entre 750 e 1.000 mm, com média de 859 mm mediana de 846 mm e desvio padrão de 63 mm. A distribuição espacial destes valores pode ser observada na Figura 2.11.

No que se refere à temperatura, a média oscila de 26°C a 27°C, alcançando o patamar de 28°C. As médias das temperaturas máximas e mínimas refletem a estabilidade do regime térmico: em geral, nas regiões mais quentes elas ficam em torno de 33°C a 34°C para as primeiras, e de 22°C a 23°C para as segundas. A variação mensal das temperaturas média, máxima e mínima da estação meteorológica de Morada Nova pode ser observada na Figura 2.12.

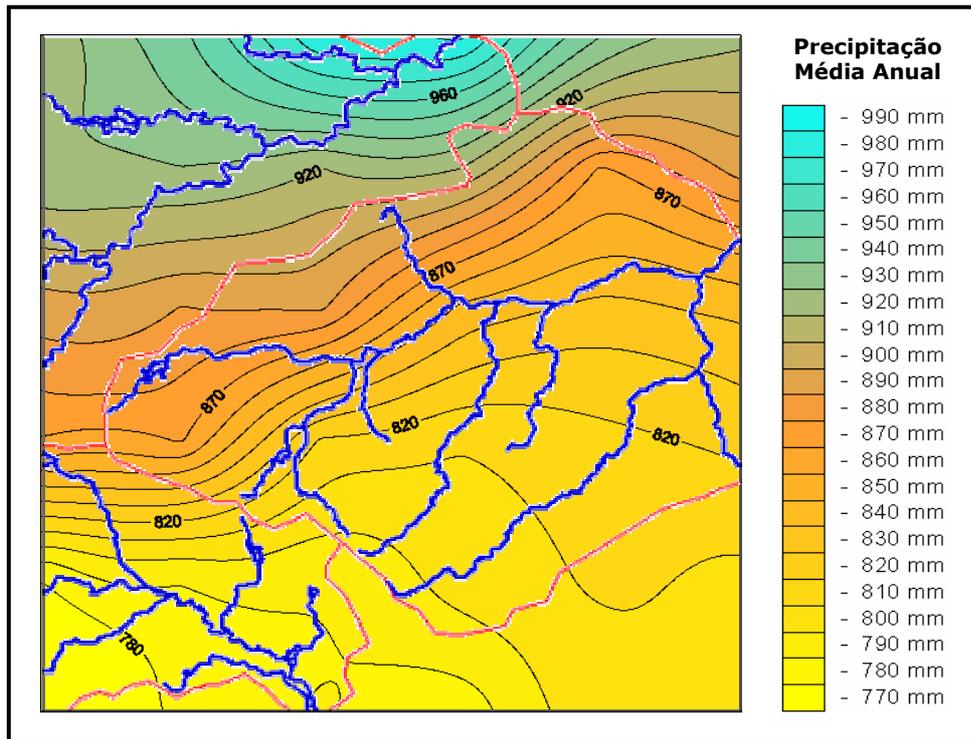


Figura 2.11 – Distribuição das precipitações médias anuais na Folha Itapiúna.

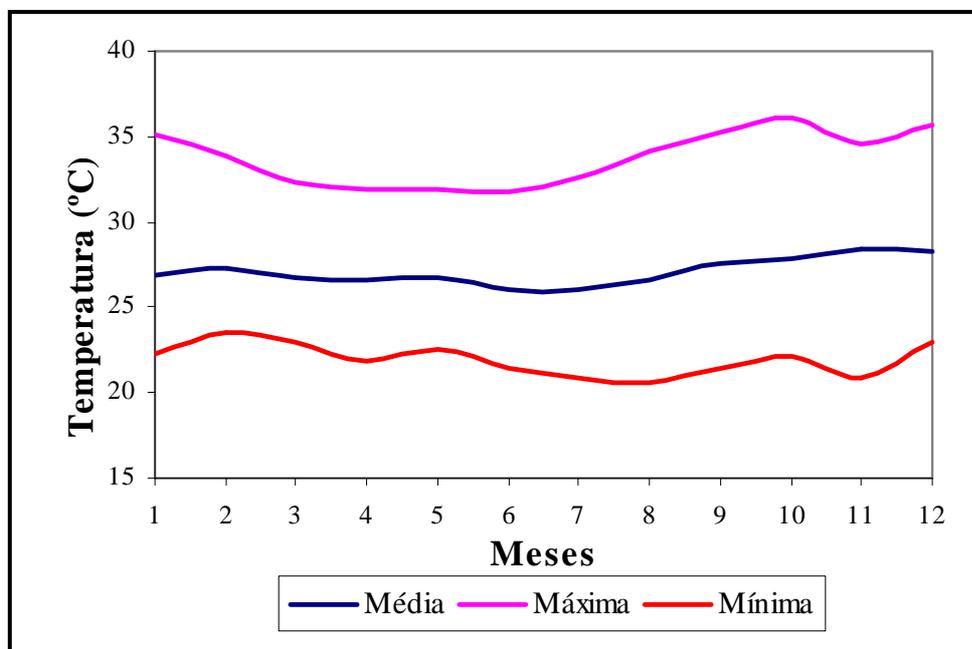


Figura 2.12 – Variação mensal da temperatura média, máxima e mínima da estação meteorológica de Morada Nova.

A umidade relativa do ar, bem como praticamente todos os parâmetros climáticos, está intimamente ligada com a pluviosidade. No período de chuvas ela supera, freqüentemente, a 80%; o trimestre março/maio é o período mais úmido. Na estiagem, a umidade reduz-se a faixa de 50%; o período crítico abrange os meses de setembro a novembro. Na média, a umidade relativa do ar varia de 60% a 65%, e nas úmidas ultrapassa 70%. Quando da ocorrência de anos secos, os valores da umidade variam muito menos e se mantêm em níveis mais reduzidos.

Uma das principais características do clima regional diz respeito à favorável insolação; especialmente o número médio de horas de insolação altera-se pouco na área, sendo de cerca de 2.650 horas/ano a quase 3.000 horas/ano. Além do mais, no decorrer do ano, a duração de incidência de luz solar apresenta variações moderadas, atingindo os menores valores nos meses de maior pluviometria - em torno de 6,0 horas/dia - e, no auge da estiagem, atinge cerca de 9,0 horas/dia.

O mesmo comportamento se observa com a nebulosidade, mais do que qualquer outro parâmetro diretamente dependente da pluviosidade. Em geral, no período chuvoso o índice observado é, freqüentemente, superior a 6,0 décimos, atingindo valores superiores aos 7,5 décimos; na estiagem, a nebulosidade diminui bastante permanecendo entre 2 décimos e 4 décimos, em especial no trimestre agosto/outubro.

No conjunto, as condições climáticas favorecem sobretudo o fenômeno da evaporação, provocando, em consequência, perdas hídricas consideráveis, mormente no que concerne aos volumes acumulados em superfícies livres. Como tais condições são mais rigorosas durante a estiagem, os índices de evaporação estão implicitamente relacionados com os de pluviometria: a ausência de chuvas contribui para o acréscimo das perdas por evaporação. Não há grande variação das taxas de evaporação na área, que contam com um total anual de 2.235 mm medidos em tanques evaporimétricos "Classe A" na estação meteorológica de Morada Nova.

O trimestre úmido março/maio é freqüentemente o de menor índice, correspondendo, em média, a 15% da evaporação anual; por outro lado, o de setembro/novembro concentra quase 1/3 do mesmo total. A taxa média diária de evaporação em Tanque Classe A, é da ordem de 3,5 mm/dia a 4,5 mm/dia nos meses mais favoráveis; alcançando a faixa de 12 mm/dia nos meses quentes nas zonas mais áridas. Quando da ocorrência de anos secos, as alturas totais de evaporação aumentam consideravelmente, podendo superar os 3.300 mm/ano; nestes casos, a diferença entre as taxas do 1º e 2º semestres reduz-se acentuadamente. (COGERH, 2001).

Na Folha Itapiúna não há estação fluviométrica, portanto para a caracterização da disponibilidade hídrica foram determinadas através de modelos regionais: a vazão média de longo período, esta determina a maior vazão possível de ser regularizada, e a modelagem hidrológica, através do uso de modelos chuva deflúvio. As bacias hidrográficas dos rios Choró, Pirangi e Sitiá foram denominadas como B1, B2 e B3, respectivamente.

No levantamento dos dados para a determinação da vazão média de longo período verificou-se a não existência de postos fluviométricos na região delimitada. Este fato impede o cálculo a partir de dados locais, para tanto, como solução, foi utilizado o modelo regional de vazões médias de longo período apresentado por Alexandre e Martins (2005). Este modelo necessita do levantamento das seguintes características fisiográficas das bacias: precipitação média anual (P) em mm, área da bacia (A) em km², declividade do canal principal (D) em m/km, e porcentagem de área da bacia situada no cristalino (Cr). Os valores das características fisiográficas e das vazões médias de longo período para cada uma das bacias podem ser observados na Tabela 2.03.

Tabela 2.03 – Características fisiográficas e vazões médias de longo período (Qmlp)

Bacias	Características Fisiográficas				Qmlp
	A	P	Cr	D	
B1	2675.97	855.6	97.9	1.7	10.42
B2	1390.63	848.9	87.0	1.3	4.65
B3	844.13	784.9	97.8	2.9	3.14

Para a modelagem hidrológica fazem-se necessárias informações de precipitação, evapotranspiração e vazão nas bacias determinadas.

O cálculo das séries de precipitação média nas bacias foi efetuado a partir do método do polígono de Thiessen para os postos pluviográficos da FUNCEME com área de influência inserida nas bacias. Já as séries de evapotranspiração foram determinadas pelas normais climatológicas.

Como não existem postos fluviométricos, a calibração do modelo chuva-deflúvio não poderia ser efetuada, no entanto, utilizando a regionalização dos parâmetros do modelo SMAP mensal apresentada em Alexandre et al. (2005) foram determinados os parâmetros Kes e SAT a partir das características fisiográficas: área da bacia (A) em km², precipitação média anual (P) em mm, capacidade de

armazenamento de água no solo (CAD) em mm e porcentagem de área da bacia situada no cristalino (Cr). Os valores das características fisiográficas e dos parâmetros calculados podem ser observados na Tabela 2.04.

Tabela 2.04 – Características fisiográficas e Parâmetros calculados do modelo SMAP

Bacias	Características Fisiográficas				Parâmetros	
	A	P	CAD	Cr	Kes	Sat
B1	2676.0	855.6	77.35	97.9	5.29	971.49
B2	1390.6	848.9	82.38	87.0	5.38	971.49
B3	844.1	784.9	68.01	97.8	4.57	973.78

De posse dos parâmetros do modelo chuva-deflúvio e da série de valores de precipitação e evaporação foram calculadas as vazões nas seções de controle no período de janeiro de 1999 a dezembro de 2005. Os resultados podem ser observados na forma de valores na Tabela 2.05 e gráfico nas Figuras 2.13, 2.14 e 2.15.

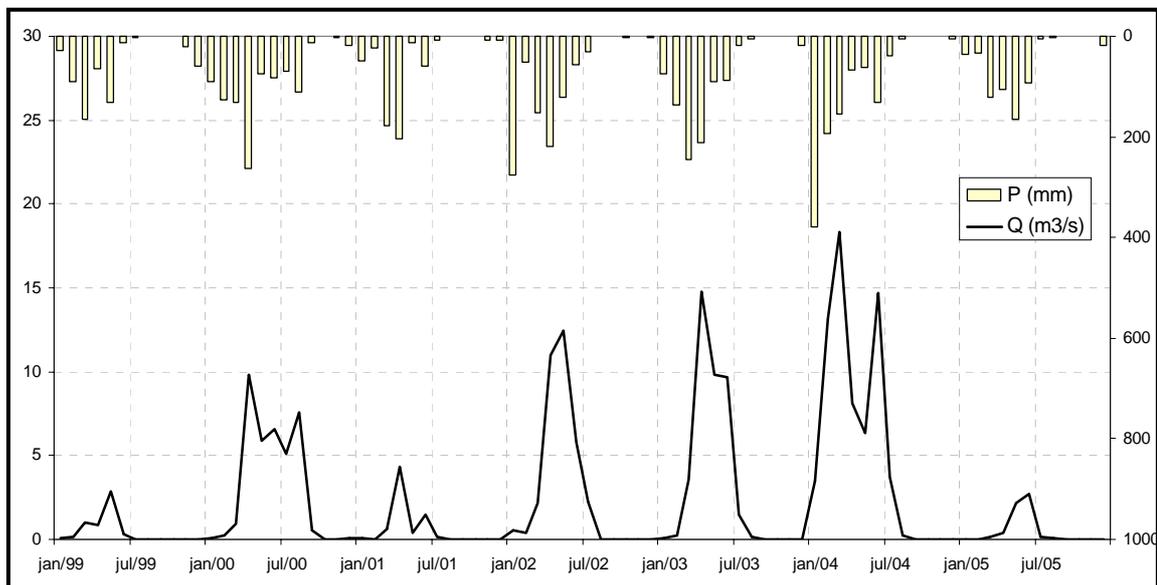


Figura 2.13 – Séries de vazões na seção de controle 1.

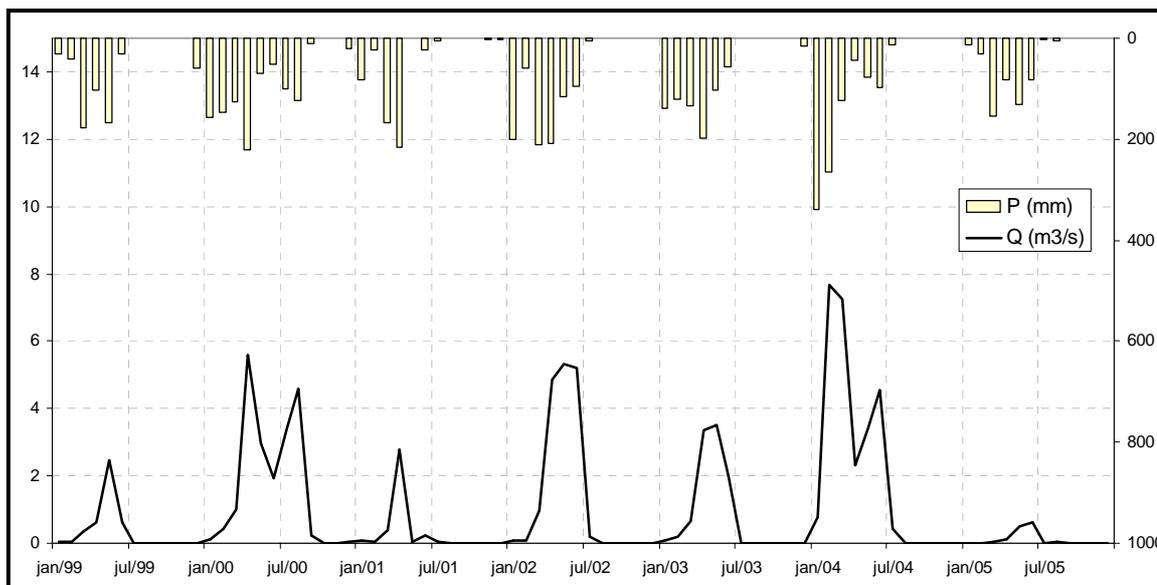


Figura 2.14 – Séries de vazões na seção de controle 2.

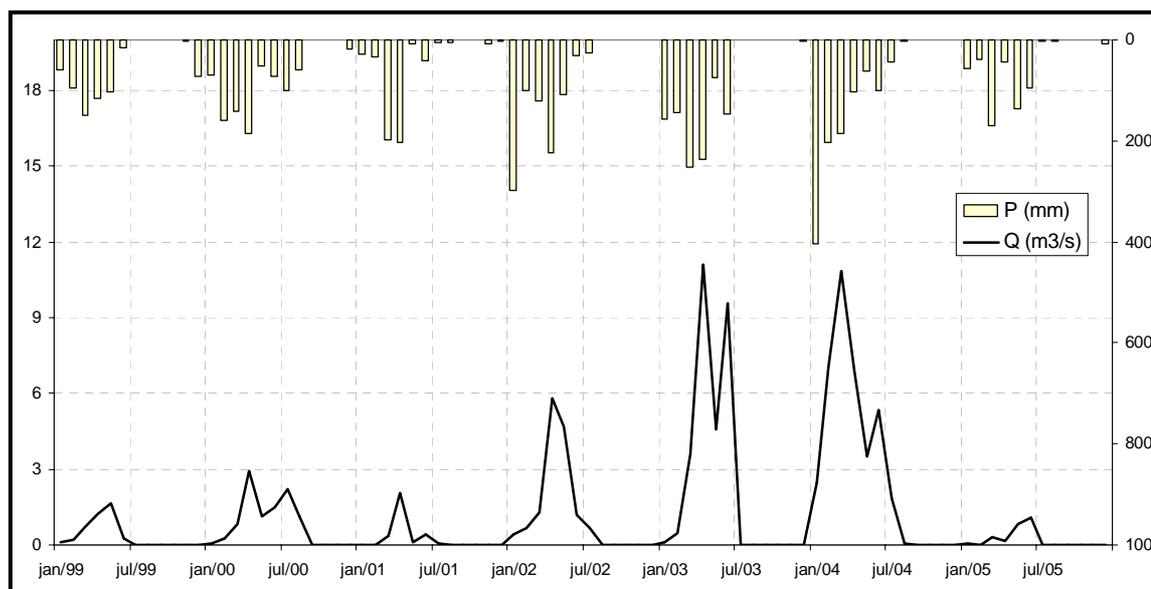


Figura 2.15 – Séries de vazões na seção de controle 3.

Tabela 2.05 – Vazões calculadas na seção de controle 1, 2 e 3.

Data	Vazão (m ³ /s)			Data	Vazão (m ³ /s)		
	SC1	SC 2	SC 3		SC 1	SC 2	SC 3
jan-99	0.04	0.02	0.08	jul-02	2.23	0.21	0.65
fev-99	0.15	0.02	0.19	ago-02	0.00	0.00	0.00
mar-99	1.04	0.33	0.74	set-02	0.00	0.00	0.00
abr-99	0.88	0.62	1.24	out-02	0.01	0.00	0.00
mai-99	2.86	2.47	1.65	nov-02	0.00	0.00	0.00
jun-99	0.34	0.60	0.24	dez-02	0.00	0.00	0.00

(continua)

(continuação)

Data	Vazão (m ³ /s)			Data	Vazão (m ³ /s)		
	SC1	SC 2	SC 3		SC 1	SC 2	SC 3
jul-99	0.03	0.01	0.01	jan-03	0.04	0.06	0.12
ago-99	0.00	0.00	0.00	fev-03	0.25	0.21	0.46
set-99	0.00	0.00	0.00	mar-03	3.53	0.67	3.59
out-99	0.00	0.00	0.00	abr-03	14.76	3.36	11.09
nov-99	0.01	0.00	0.00	mai-03	9.83	3.50	4.56
dez-99	0.02	0.01	0.02	jun-03	9.64	2.00	9.57
jan-00	0.06	0.10	0.03	jul-03	1.44	0.00	0.00
fev-00	0.27	0.44	0.26	ago-03	0.14	0.00	0.00
mar-00	0.96	1.00	0.81	set-03	0.00	0.00	0.00
abr-00	9.81	5.59	2.92	out-03	0.00	0.00	0.00
mai-00	5.87	2.96	1.11	nov-03	0.00	0.00	0.00
jun-00	6.61	1.91	1.47	dez-03	0.01	0.00	0.00
jul-00	5.11	3.40	2.20	jan-04	3.49	0.78	2.48
ago-00	7.55	4.59	1.14	fev-04	13.18	7.66	7.04
set-00	0.54	0.25	0.00	mar-04	18.29	7.25	10.87
out-00	0.01	0.00	0.00	abr-04	8.10	2.33	6.92
nov-00	0.01	0.00	0.00	mai-04	6.34	3.42	3.49
dez-00	0.04	0.02	0.01	jun-04	14.69	4.55	5.33
jan-01	0.07	0.08	0.01	jul-04	3.73	0.41	1.84
fev-01	0.03	0.02	0.01	ago-04	0.20	0.00	0.06
mar-01	0.61	0.38	0.34	set-04	0.01	0.00	0.00
abr-01	4.32	2.78	2.05	out-04	0.00	0.00	0.00
mai-01	0.40	0.02	0.09	nov-04	0.00	0.00	0.00
jun-01	1.46	0.25	0.43	dez-04	0.00	0.00	0.00
jul-01	0.13	0.04	0.04	jan-05	0.02	0.00	0.03
ago-01	0.01	0.00	0.02	fev-05	0.01	0.00	0.02
set-01	0.00	0.00	0.00	mar-05	0.14	0.05	0.29
out-01	0.00	0.00	0.00	abr-05	0.41	0.13	0.16
nov-01	0.00	0.00	0.00	mai-05	2.19	0.51	0.83
dez-01	0.00	0.00	0.00	jun-05	2.70	0.62	1.06
jan-02	0.51	0.06	0.40	jul-05	0.12	0.01	0.02
fev-02	0.39	0.07	0.67	ago-05	0.04	0.02	0.01
mar-02	2.13	0.96	1.29	set-05	0.00	0.00	0.00
abr-02	10.99	4.86	5.81	out-05	0.00	0.00	0.00
mai-02	12.45	5.34	4.69	nov-05	0.00	0.00	0.00
jun-02	5.82	5.21	1.20	dez-05	0.00	0.00	0.00

2.7 - Meio Antrópico da Área de Influência do Projeto

Para caracterização do meio antrópico relativo à região de abrangência do projeto, utilizou-se dados secundários fornecidos pelo IPECE, IBGE, e outros órgãos públicos. O Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE, vem disponibilizando para o Estado do Ceará informações oficiais relativas à caracterização de todos os municípios. Dados contidos nos seus Anuários Estatísticos, Informações Básicas Municipais, bem como aqueles obtidos diretamente do IBGE, como Censos Demográficos, foram tabulados e utilizados pela

equipe do projeto nas suas considerações. Salienta-se que os dados e informações apresentados neste documento, referem-se aos municípios que apresentam parte ou totalidade do seu território inserido na Folha de Itapiúna, portanto situados na área de influência do projeto, e que, direta ou indiretamente poderão se beneficiar com as informações e resultados advindos do mesmo. Tais municípios são: Aracoiaba, Baturité, Capistrano, Ibicutinga, Ibaretama, Itapiúna, Morada Nova, Ocara e Quixadá.

2.7.1 - População residente

Analisando-se dados de população, verifica-se que houve um aumento da população residente na região entre os anos de 2001 e 2005. Em 2001, os municípios contavam com uma população total de 266.507 habitantes. Já em 2006, o IPECE, apontava uma população total de 282.553 habitantes, o que representa um aumento de 6,02 % no período (Tabela 2.06).

Tabela 2.06 - População residente nos municípios inseridos na área de influência do projeto, no período de 2001 a 2006.

ANO	Estimativa da população residente			Diferença
	Total	Homens	Mulheres	
2001	266.507	134.353	132.154	2199
2002	268.025	135.153	132.872	2281
2003	270.519	136.446	134.073	2373
2004	276.776	139.682	137.094	2588
2005	279.674	141.187	138.487	2700
2006	282.553	142.681	139.872	2809

Fonte: IPECE – Anuário Estatístico do Ceará - 2006

Salienta-se que, em todos os anos analisados, há uma predominância da população do sexo masculino, observando-se, ainda, uma tendência ao aumento desta diferença ao longo dos anos (Figura 2.16).

Observa-se ainda que, ao considerar-se o total da população residente na região no ano de 2000, era o meio urbano que apresentava o maior contingente populacional (Tabela 2.07). Verifica-se, também, que a maior parte da população

que habitava este meio era constituída por mulheres, e que o maior percentual da força de trabalho masculina encontrava-se alocada nas áreas rurais.

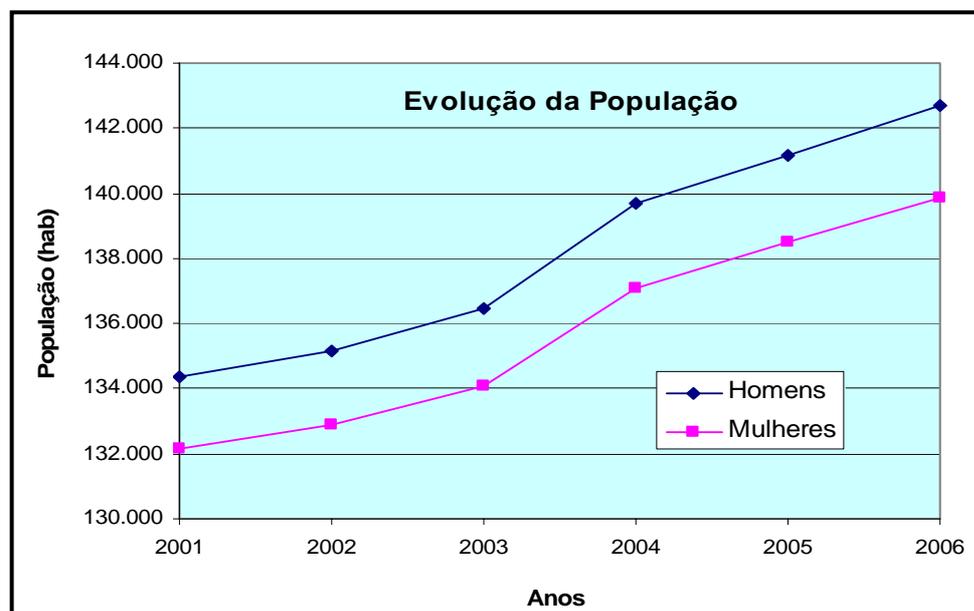


Figura 2.16 – Evolução da população da região, por sexo. Período 2001-2006.

Tabela 2.07 – População residente nos municípios da região, por situação do domicílio e sexo – 2000.

População	Homens	Mulheres	Total
Urbana	68.715	72.154	140.869
Rural	64.164	58.632	122.796
Total	132.879	130.786	263.665

Fonte: IPECE – Anuário Estatístico do Ceará - 2006

Com relação à evolução da ocupação na área (Tabela 2.08), é importante enfatizar que, no período 1991/2000, registra-se, para a maioria os municípios da região, um incremento na população situada nas áreas urbanas e queda da população rural, com exceção dos municípios de Itapiúna e Ocara, onde se observou um aumento no contingente populacional que habitava o meio rural durante o período. Nos dois anos considerados, era no meio rural que residia a maior parte da população, com exceção dos municípios de Baturité e Quixadá. Comportamento distinto também foi observado nos municípios de Aracoíaba e Morada Nova, onde, em 2000, a maior parte da população concentrava-se na zona urbana.

Tabela 2.08 – População residente nos municípios da região, por situação do domicílio. Período 1991– 2000.

Município	1991			2000		
	Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
Aracoiaba	22.508	10.478	12.030	24.064	12.205	11.859
Baturité	27.147	16.199	10.948	29.861	20.846	9.015
Capistrano	15.559	4.459	11.100	15.830	5.252	10.578
Ibaretama	11.253	2.004	9.249	12.561	3.366	9.195
Ibicuitinga	8.598	2.424	6.174	9.435	4.387	5.048
Itapiúna	12.854	4.966	7.888	16.276	7.684	8.592
Morada Nova	58.912	26.499	32.413	64.400	33.869	30.531
Ocara	19.828	5.182	14.646	21.584	6.372	15.212
Quixadá	72.224	39.404	32.820	69.654	46.888	22.766
Total	248.883	111.615	137.268	263.665	140.869	122.796

Fonte: IPECE – Perfil Básico Municipal - 2004

Analisando-se a região como um todo, observa-se que no período considerado ocorreu uma diminuição da população rural, que passou de 137.268 habitantes para 122.796 habitantes. Tal fato evidencia a incapacidade das áreas rurais da região em manter o agricultor nas atividades do campo, o que contribui para o problema de inchaço dos centros urbanos. Salienta-se que tal fenômeno implica no surgimento de problemas sócio-econômicos para região, caso as sedes urbanas não possuam infra-estrutura suficiente para suportar o grande fluxo de pessoas que demandam suas áreas, na ilusão de encontrarem melhores condições de vida.

2.7.2 - Aspectos sócio-econômicos

De acordo com informações extraídas no Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará (1999), a agricultura desenvolvida na região de abrangência do projeto ocorre mais em nível de subsistência, destacando-se o feijão, milho e mandioca como produtos mais cultivados. Em alguns municípios, observa-se também o cultivo do arroz. Aproveitando-se das características da região, o

agricultor desenvolve ainda atividade agrícola ligada ao monocultivo de algodão, banana, abacate, cana-de-açúcar, castanha de caju, hortaliças e frutas diversas.

Na pecuária extensiva, destaca-se a criação, na maior parte da região, de rebanhos bovinos, ovinos, caprinos e suínos. A exceção ocorre no município de Morada Nova onde não se observa uma produção expressiva de caprinos e suínos, e no município de Ocara onde a criação de caprinos é insignificante. Em alguns municípios constata-se ainda a criação de aves.

No extrativismo vegetal salienta-se a fabricação de carvão vegetal, extração de madeiras diversas para lenha e construção de cercas, além de atividades com oiticica e carnaúba. Com efeito, no município de Itapiúna, por exemplo, a produção de produtos e subprodutos obtidos a partir de oiticica e carnaúba é acentuada, tornando-se importante na composição da renda da população.

Na área de mineração, a extração de rochas ornamentais, rochas para cantaria, brita, placas para fachadas e usos diversos na construção civil é ainda incipiente na maioria dos municípios da região, com exceção dos municípios de Baturité e Ibaretama, onde está atividade já é difundida, merecendo, portanto, algum destaque. Por outro lado, a extração de areia e argila (utilizada na fabricação de telhas e tijolos), bem como a extração de rocha calcária (utilizada na fabricação de cal) está em franca atividade na região.

O artesanato de redes e bordados é bastante difundido na região, representando atividade lucrativa, e, em alguns municípios, torna-se decisivo na composição da renda familiar. Em Capistrano, a fabricação caseira de doces ocupa posição de destaque no quadro econômico municipal. O turismo, em Baturité, também representa atividade lucrativa para o município. A fabricação de chapéus de palha e couro em Ibaretama constitui fonte de renda para as comunidades locais, assim como a fabricação de queijo e manteiga no município de Ibicutinga. Em Ocara a apicultura e obtenção de mel silvestre vêm despontando no quadro municipal.

Nos municípios de Capistrano, Morada Nova e Quixadá, observa-se ainda o desenvolvimento de atividade pesqueira, a qual ocorre apenas em pequenos açudes e lagoas da região. Em Ibaretama, a pesca artesanal é praticada em açudes do município, visando apenas consumo doméstico.

Quanto à atividade industrial, segundo informações extraídas do Anuário Estatístico do Ceará (2006), predominam indústrias de transformação e empresas industriais ligadas à construção civil. Com relação às indústrias de transformação, registram-se na região indústrias de produtos de minerais não metálicos, de

madeira, algumas metalúrgicas e indústrias de mobiliário, vestuário, calçados, artefatos de tecido, couro e peles, e de produtos alimentares.

As sedes municipais dispõem de abastecimento de água (CAGECE), fornecimento de energia elétrica (COELCE), serviço telefônico (TELECEARÁ), agência de correios e telégrafos (ECT), serviço bancário, hospitais, hotéis, e colégios com ensino de 1º e 2º graus.

No tocante à saúde, verifica-se que, no ano de 2003, 83,0% das unidades de saúde ligadas ao Sistema Único de Saúde (SUS), eram da rede pública (Tabela 2.09). Neste mesmo ano, a região contava com um total de 1811 profissionais de saúde, distribuídos conforme Tabela 2.10.

Tabela 2.09 - Unidades de saúde ligadas ao sistema único de saúde, por tipo de prestador 2003.

Tipo de prestador	Quantidade	%
Total	200	100,0
Pública	166	83,0
Privada	34	17,0

Fonte: IPECE – Perfil Básico Municipal -2004

Tabela 2.10 – Profissionais de Saúde na região. 2003

Discriminação	Quantidade
Total	1811
Médicos	347
Dentistas	82
Enfermeiros	136
Outros profissionais de saúde/nível superior	88
Agentes comunitários de saúde	553
Outros profissionais de saúde/nível médio	605

Fonte: IPECE – Perfil Básico Municipal -2004

Salienta-se ainda que, de acordo com dados da Secretaria de Saúde do Estado, a região contava com um total de 199 unidades de saúde ligadas ao

sistema único de saúde, conforme discriminadas, por tipo de unidade, na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Unidades de saúde ligadas ao sistema único de saúde, por tipo de unidade – 2003.

Tipo de Unidade	Quantidade
Posto de Saúde	45
Centro de Saúde	19
Ambulatório	10
Consultório Médico/Odontológico	20
Policlínica	6
Unidade Mista	1
Unidade Móvel	0
Unidade de Vigilância Sanitária	2
Unidade de Saúde da Família	67
Outras	20
Hospitais	9
Total	199

Fonte: IPECE – Perfil Básico Municipal -2004

Quanto à Educação, existiam na região, em 2003, um total de 2.392 salas de aula e 4.590 docentes, a maior parte (70,7%), vinculados à rede municipal de ensino. De acordo com a Tabela 2.12, foram registradas, neste ano, na região, um total de 113.056 matrículas.

Como se pode constatar na Tabela 2.12, não existem na região estabelecimentos de ensino ligados à rede federal. Ressalta-se que do total de escolas cadastradas na região, poucas são equipadas com biblioteca, acesso à INTERNET e Laboratório de Informática. Constata-se, ainda, que a maior parte das matrículas efetuadas na rede de ensino refere-se ao ensino fundamental, sendo este segmento responsável pelos maiores índices de reprovação, repetência e abandono escolar.

Tabela 2.12 - Docentes, Matrícula Inicial e Salas de Aula - 2003

Dependência Administrativa	Docentes	Matrícula Inicial	Salas de Aula
Total	4.590	113.056	2.392
Federal			
Estadual	790	24.653	365
Municipal	3.243	80.905	1.731
Particular	557	7.498	296

Fonte: IPECE – Perfil Básico Municipal -2004

MAPEAMENTO DOS CORPOS ALUVIONARES

3 - MAPEAMENTO DOS CORPOS ALUVIONARES

3.1 - Introdução

Um dos principais objetivos da presente pesquisa foi o mapeamento dos corpos aluvionares existentes na região abrangida pela Folha Itapiúna, na escala 1:100.000. O mapeamento de um recurso natural envolve sua identificação e registro em uma base cartográfica compatível com as dimensões do elemento desejado. Usou-se a fotointerpretação (automática e subjetiva) como principal ferramenta no levantamento das informações geográficas.

Para uma melhor compreensão dos trabalhos realizados, é apresentado a seguir um breve apanhado sobre alguns elementos básicos de sensoriamento remoto. Maiores detalhes sobre o assunto, recomenda-se a leitura da dissertação de mestrado de Oliveira (2006).

3.2 - Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é a ciência e a arte de obter informações sobre um elemento, área ou fenômeno, através da análise de dados coletados por aparelhos denominados sensores, que não entram em contato direto com os alvos em estudo (Couto & Vettorazzi, 1990). Já Garcia (1982) definiu sensoriamento remoto como a detecção da natureza de um objeto sem que haja contato físico, em que aviões e satélites são as plataformas mais comuns. Este termo é restrito aos métodos que utilizam a energia eletromagnética na detecção e medida das características de objetos, incluindo-se aqui as energias relativas à luz, calor e ondas de rádio.

O emprego de produtos de sensoriamento remoto em mapeamento já vem de longa data. Nos meados do século retrasado (XIX) já se usava balões equipados com câmeras fotográficas para se obter informações sobre o terreno. Dentre os principais produtos de sensoriamento remoto pode-se destacar a fotografia aérea, a imagem de radar e a imagem de satélite.

3.2.1 - Aspectos conceituais

O sensoriamento é caracterizado pelo estudo ou observação de objetos e o acompanhamento de fenômenos de forma que não ocorra o contato com o objeto estudado, isso é realizado a partir da radiação refletida ou emitida por um corpo e captada por um sensor.

Todo corpo com temperatura acima de 0⁰ K (Kelvin), teoricamente emite

radiação eletromagnética, sendo esta radiação caracterizada por um comprimento de onda e uma frequência.

O sol emite uma grande quantidade de energia eletromagnética, mas nem todos os comprimentos de ondas conseguem atravessar a atmosfera terrestre e atingir a superfície da Terra. As regiões do espectro eletromagnético em que a atmosfera deixa passar radiação são conhecidas como janelas atmosféricas, e a maioria dos sensores são construídos para registrar os comprimentos de ondas eletromagnéticas que conseguem atravessar a atmosfera. A Figura 3.01 mostra o comportamento da transmissividade da atmosfera em função do comprimento de onda.

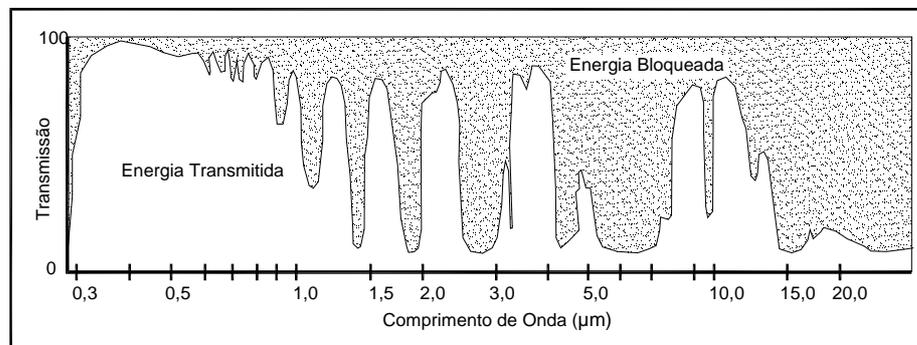


FIGURA 3.01 – Janelas atmosféricas. (Fonte: Adaptada da Engesat, 2005).

O espectro eletromagnético mostrado na Figura 3.02 corresponde a um grupo de radiação em função do comprimento de onda, nesta figura percebemos as mais diversas ondas eletromagnéticas como as microondas com um comprimento de onda maior que o infravermelho e a luz visível que corresponde a uma pequena faixa do espectro eletromagnético que fica entre o infravermelho e o ultravioleta.

3.2.1.1 -Radiação visível

A radiação visível (luz) é a radiação eletromagnética, compreendida entre os comprimentos de ondas 390 nm a 700 nm (Ver Figura 3.02), que quando incide no sistema visual humano provoca uma sensação de cor no cérebro.

Ao decompor a luz branca em várias cores, o nosso sistema visual percebe que existem várias cores, cada cor correspondendo a um intervalo de comprimento de onda eletromagnética. Como exemplo, podemos citar a cor azul que é a radiação situada ente 446 a 500 nm. NO Tabela 3.01 encontra-se as cores com os respectivos intervalos de comprimentos de ondas.

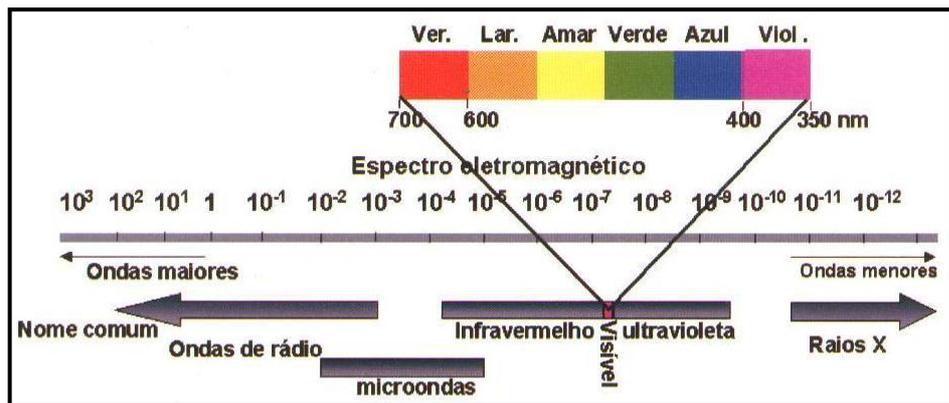


FIGURA 3.02 – Espectro eletromagnético. (Fonte: Moreira, 2003).

TABELA 3.01 – Relação de cores e faixas espectrais na região do visível (Fonte: Moreira, 2003).

Cor	Comprimento de Onda (nm)
Violeta	400 a 446
Azul	446 a 500
Verde	500 a 578
Amarelo	578 a 592
Laranja	592 a 620
Vermelho	620 a 700

3.2.1.2 - Radiação infravermelha

A radiação infravermelha (IV) corresponde à radiação eletromagnética, com comprimentos de ondas situados entre 700 nm e 1.000000 nm, e situada entre a luz visível e as microondas no espectro eletromagnético (Ver Figura 3.02). Esta radiação, por abranger um intervalo muito grande do espectro em relação à luz visível, é dividida em três parcelas ou faixas espectrais: IV próximo (700 a 1.100 nm), IV médio (1.100 a 3.000 nm) e IV distante ou Termal (3.000 a 1.000.000 nm).

3.2.2 - Sistemas sensores

Vários equipamentos são utilizados como plataformas para abrigar os sensores, podendo estes ser terrestres ou aéreos (balões, aviões, aeroplanadores,

satélites, helicópteros entre outros). O desenvolvimento tecnológico proporciona um avanço no número e na resolução espectral e espacial dos sensores terrestres sub-orbitais e orbitais.

A radiação registrada pelos sensores pode ser natural, radiação emitida pelo sol, sendo neste caso o sensor denominado sensor passivo, enquanto que os sensores que emitem sua própria radiação são considerados ativos. Temos neste último grupo os radares que emitem microondas e recebe o sinal de volta.

A radiação proveniente do sol quando atinge a superfície do planeta é absorvida parcialmente, sendo a parte que interessa ao sensoriamento remoto refletida pelos alvos da superfície terrestre. Dependendo do alvo, existe uma parcela da radiação que é transmitida através do mesmo, como, por exemplo, as folhas de uma vegetação em que ocorrem os três processos: absorção, reflectância e transmitância.

A parte que é refletida pode ser quantificada através de radiômetro, que são equipamentos usados para medir a radiação eletromagnética refletida. A denominação radiômetro é uma denominação genérica, pois dependendo da situação o mesmo recebe nome específico. Os espectrorradiômetros, denominação dada aos radiômetros que operam em faixas espectrais estreitas ao longo da faixa de atuação, são sensores terrestres que possibilitam distinguir, dependendo da banda, os vários alvos que refletem a radiação.

Basicamente o que distingue um sensor de outro é a plataforma onde ele é instalado, sua finalidade, faixa espectral, resolução espectral, resolução espacial ou geométrica, resolução temporal e radiométrica.

A resolução espectral está ligada às faixas espectrais, pois existem sensores que operam numa faixa espectral larga e outros operam em uma faixa espectral estreita. Em situações em que dois alvos reflitam radiação com comprimento de onda muito próximo, devemos usar um sensor que tenha a sensibilidade em distinguir os dois alvos pesquisados.

No que concerne à resolução espacial, esta, está relacionada com a menor área da superfície da terra que o sensor consegue registrar, ou seja, a área correspondente a um *pixel*, ou em outras palavras, a menor unidade da cena que o sensor consegue captar.

O *pixel* também representa a menor área da imagem com a mesma característica radiométrica. Então, a resolução espacial está relacionada ao tamanho do *pixel*, sendo que quanto menor o *pixel* maior a resolução espacial da imagem. O *pixel* é representado por uma mistura de alvos que refletem a energia

que incide neste de maneira diferente. Os sensores conseguem registrar a energia referente a esta mistura espectral, em termos de uma média ponderada dos alvos presentes no *pixel*.

Uma imagem coletada a partir de um sensor remoto é constituída por uma grade ou um "grid" chamado de "*pixel*" (*picture element*). O *pixel* é o menor componente de uma imagem, sendo localizado por um sistema de coordenadas (x, y) e um número digital (DN = Digital Number) que representa o nível de cinza do mesmo. Os números digitais são valores médios de energia refletida na superfície da Terra na região onde está localizado cada *pixel*, variando de preto a branco e assumindo um valor no intervalo de 0 a 255, se a imagem for de 8 bits..

Os sensores de satélites visualizam a imagem através do campo de visada instantânea (IFOV), que corresponde a uma área vista na superfície do alvo, porém o uso do *pixel* torna-se mais prático para imagens de satélites (Moreira, 2003). A Figura 3.03 mostra um esquema para diferenciar o *pixel* do IFOV.

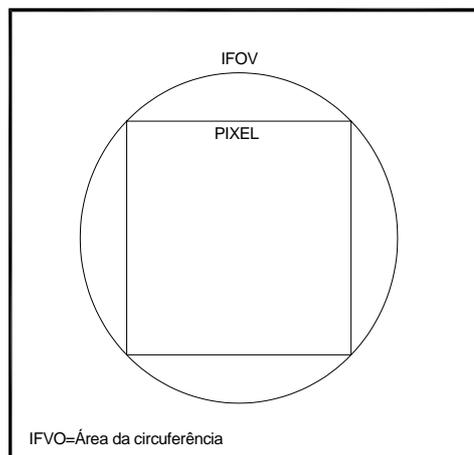


FIGURA 3.03 – Esquema para diferenciar IFOV e pixel (Fonte: Moreira, op. cit.)

Os *pixels* são representados na grande maioria por números digitais, no entanto, para Pereira (1996) esses valores não representam quantitativamente valores físicos reais. O tamanho dos objetos em uma imagem de satélite deve ser pelo menos três vezes maior que o *pixel* para que o mesmo possa ser observado (Molenaar, 1998 apud Oliveira, 2005).

A resolução temporal é o tempo necessário para que o satélite possa passar novamente em cima da mesma área que ele passou anteriormente. Por exemplo: se um satélite registrou as informações da radiação de um alvo em uma posição, e ele leva 16 dias para voltar a registrar a radiação daquela mesma posição, podemos dizer que a resolução temporal é de 16 dias.

A resolução radiométrica está relacionada à capacidade do sensor em distinguir dois alvos com respostas espectrais muito próximas. Cada alvo é caracterizado por sua resposta espectral, sendo essa resposta registrada pelo sensor e associada a um nível de cinza que vai de escuro (quando os valores estão próximos à zero) a claro, (quando os valores estão próximo ao máximo). Esses sinais são gravados em *bits*. Assim, imagens gravadas em 2 *bits* têm 4 níveis possíveis de cinza, imagens gravadas em 3 *bits* têm 8 níveis possíveis de cinza, e, genericamente, imagens gravadas em n *bits* têm 2^n níveis de cinza possíveis.

Os sensores dos satélites muitas vezes registram a radiação sem, esta, está chegando ao sensor, embora este sinal seja associado a um número digital baixo, ou seja, o sensor produz uma saída maior que zero (Luiz et al, 2003). Em função do que foi mencionado anteriormente, os sensores não registram um valor zero para o número digital.

3.2.3 - Os Principais satélites de recursos naturais

Os satélites ambientais são usados para a pesquisa envolvendo os recursos naturais, transportando sensores capazes de imagear uma área da superfície do nosso planeta. Este tipo de satélite tem como objetivo principal o estudo do nosso planeta através de imagens ou outro tipo de resposta espectral emitida por um alvo na superfície da Terra ou da atmosfera.

3.2.3.1 - Satélite LANDSAT (Sensores TM e ETM+)

No dia 23 de Julho de 1972, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) lançou nos Estados Unidos o primeiro satélite chamado ERTS 1 (*Earth Resources Technology Satellites*), no âmbito do Programa Espacial "*Earth Resources Technology Satellite*".

Este Programa Espacial e os satélites que o compõem foram em seguida rebatizados "LANDSAT", para melhor sugerir o enfoque do seu esforço sobre sensoriamento remoto de Recursos Naturais Terrestres. Foram lançados 7 satélites do Programa LANDSAT desde 1972. Veja na Tabela 3.02 os satélites da série LANDSAT.

TABELA 3.02 – Série de satélite LANDSAT (Adaptado: EngeSat, 2005)

SATÉLITE	DATA DE LANÇAMENTO	DATA DE DESATIVAÇÃO
LANDSAT 1	23/07/72	06/01/78
LANDSAT 2	22/01/75	22/02/82
LANDSAT 3	05/03/78	31/03/83
LANDSAT 4	16/07/82	c/problemas
LANDSAT 5	01/03/84	Ativo
LANDSAT 6	05/10/93	Perdido
LANDSAT 7	15/04/99	Ativo

O LANDSAT 7 é o mais recente satélite em operação do programa LANDSAT. O novo satélite foi lançado em abril de 1999, com um novo sensor a bordo denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Uma imagem LANDSAT 7 ETM+ é composta por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas em inúmeras possibilidades de composições coloridas e opções de processamento. Entre as principais melhorias técnicas, se comparado ao seu antecessor, o satélite LANDSAT 5, destacam-se a adição de uma banda espectral (banda Pancromática) com resolução espacial de 15 m, perfeitamente registrada com as demais bandas, melhorias nas características geométricas e radiométricas, e o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 m.

O LANDSAT 7 pode adquirir imagens numa área que se estende desde 81º de Latitude Norte até 81º de Latitude Sul e obviamente, em todas as longitudes do globo terrestre. Uma órbita do LANDSAT 7 é realizada em aproximadamente 99 minutos, permitindo ao satélite dar 14 voltas na Terra por dia, e a cobertura total do nosso planeta sendo completada em 16 dias. A órbita é descendente, ou seja, de Norte para Sul, e o satélite cruza a linha do Equador entre 10:00h e 10:15h (hora local) em cada passagem. A órbita do LANDSAT 7 é "heliosincronizado", assim sempre passa num mesmo local ao mesmo horário solar.

Problemas técnicos com o LANDSAT 7, ocorridos em 31 de maio de 2003, estão impedindo a obtenção de novas imagens do satélite. O problema ocorreu no equipamento eletro-mecânico chamado SLC (Scan Line Correction), este equipamento é um sistema que compensa o deslocamento do satélite em relação ao movimento de rotação da Terra durante as aquisições das imagens. Atualmente este problema está sendo contornado por meio de interpolação, mas ainda é

sugerido que não sejam usadas em processos de classificações automáticas.

3.2.3.2 - Satélite EOS AM-1 (Sensor ASTER)

O ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) é um dos Instrumentos a bordo do satélite EOS AM-1 e obtém imagens de alta resolução (15 a 90 m) da Terra nas regiões dos espectros: Visível, Infravermelho Próximo (VNIR), Infravermelho Médio (SWIR) e Infravermelho Térmico (TIR) (Sulsoft, 2004).

As imagens ASTER são registradas pelo sensor no nível 1A (imagens brutas) e a seguir são georreferenciadas, gerando assim as imagens no nível 1B, que possuem as calibrações radiométricas e geométrica (Sulsoft, op. cit.).

O Instrumento ASTER é constituído de três subsistemas de telescópio distintos: VNIR, SWIR e TIR. Neste instrumento, as bandas do VNIR são usadas na interpretação visual de feições na superfície, e as bandas do SWIR podem ser usadas no mapeamento litológico de uma região (Rojas, 2005). Cada subsistema opera em uma região espectral diferente, e possui seu próprio telescópio, o qual pode ser verificado na Tabela 3.03. A Figura 3.04 mostra as regiões do espectro eletromagnético, em que o sensor consegue registrar a radiação refletida na superfície da Terra.

TABELA 3.03 – Características gerais dos três subsistemas ASTER (Rojas, op. cit.).

CARACTERÍSTICAS	VNIR	SWIR	TIR
Faixa espectral	Banda 1 0,52-0,60 m	Banda 4 1,60-1,70 m	Banda 10 8,125-8,475 m
	Banda 2 0,63-0,69 m	Banda 5 2,145-2,185 m	Banda 11 8,475-8,825 m
	Banda 3N 0,76-0,86 m	Banda 6 2,185-2,225 m	Banda 12 8,925-9,275 m
	Banda 3B 0,76-0,86 m	Banda 7 2,235-2,285 m	Banda 13 10,25-10,95 m
		Banda 8 2,295-2,365 m	Banda 14 10,95-11,65 m
		Banda 9 2,360-2,430 m	
Resolução espacial (m)	15	30	90
Largura da cena (km)	60	60	60
Quatização (bits)	8	8	12

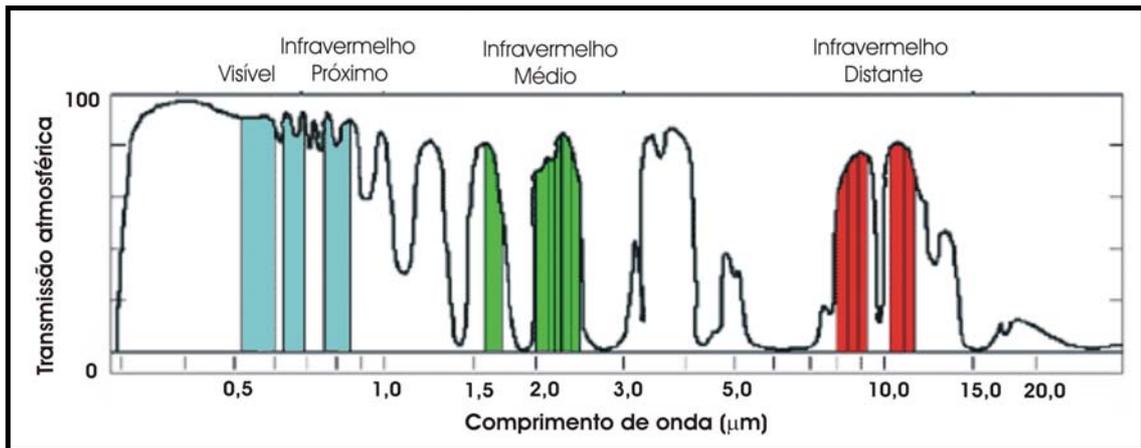


FIGURA 3.04 – Bandas espectrais do sensor ASTER. (Fonte: EngeSat, 2005).

O subsistema VNIR possui uma banda para a geração de imagens não nadir (quando a imagem é registrada com o sensor com uma inclinação diferente de 90° em relação ao plano da cena), que são usadas para a geração de imagens estereoscópicas.

O sensor ASTER nas faixas do infravermelho médio (SWIR), entre os comprimentos de onda 2.145 a 2.430 nm, possui uma resolução espectral maior que o LANDSAT 7, o qual só tem uma banda cobrindo este intervalo do espectro eletromagnético. Já o sensor ASTER, possui as bandas 5, 6, 7, 8 e 9. Por esta razão, em muitos trabalhos envolvendo classificação com imagens ASTER é recomendado a reamostragem das bandas do SWIR de 30 m para 15 m para que as mesmas possam ser processadas com as bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR).

3.2.3.3 - *Satélite SPOT 5*

O satélite SPOT 5 foi lançado em 4 de maio de 2002, a partir de Kourou na Guiana Francesa, está na sua órbita polar a aproximadamente 832 km de altitude, com uma inclinação de 98° em relação ao plano do equador e resolução temporal de 26 dias. A área de recobrimento de cada cena é 60 por 60 km, com uma precisão absoluta de localização melhor que 50 m sem uso de pontos de controle. As imagens SPOT 5 possuem um instrumento de alta resolução óptico usado para gerar imagens pancromáticas e multiespectral, (*HGR – High Geometric Resolution*) e suas características encontram-se na Tabela 3.04.

TABELA 3.04 Características do Sensor SPOT 5. (Fonte: Spot imagem, 2005).

Espectro eletromagnético	Pixel	Bandas espectrais
Pancromática	2,5 ou 5 m	0,48 - 0,71 mm
B1: Verde	10 m	0,50 - 0,59 mm
B2: Vermelha	10 m	0,61 - 0,68 mm
B3: Infravermelho próximo	10 m	0,78 - 0,89 mm
B4: Infravermelho médio	20 m	1,58 - 1,75 mm

Além deste instrumento, existem ainda: 1. o HRS (*High-Resolution Stereoscopic imaging instrument*), mostrado na Figura 3.05, usado para gerar imagens estereoscópicas; e o 2. Instrumento vegetação 2 (*VEGETATION instrument*), um imageador multispectral de 1 km de resolução espacial, o qual fornece uma visão em pequena escala da Terra, com uma faixa imageada de 2.250 km de largura. A principal função do último instrumento é a investigação da complexa interação entre a cobertura vegetal do Planeta e o clima global.

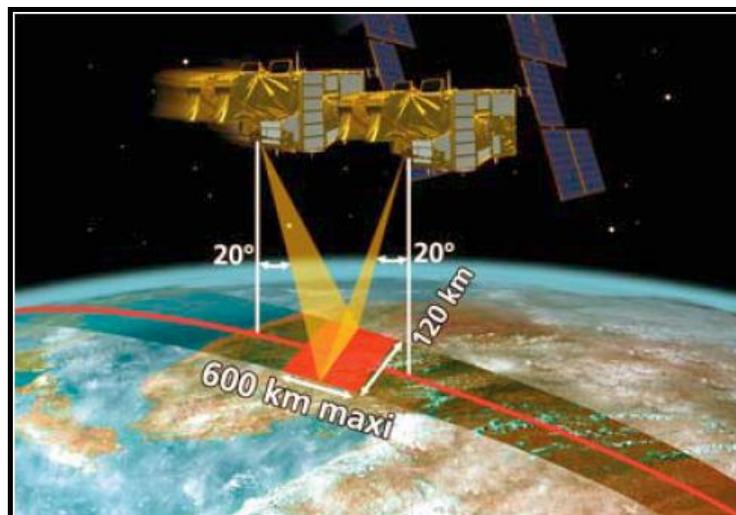


FIGURA 3.05 – HRS SPOT 5 para geração de imagens estereoscópicas. (Fonte: Spot Image).

3.2.4 - Interação da radiação com os vários alvos na superfície terrestre

A radiação solar interage de maneira diferente com os vários alvos da superfície terrestre, havendo diferença até quando o alvo é o mesmo. Isso depende

de uma quantidade razoável de fatores, no entanto podemos citar alguns como o ângulo de incidência da radiação, condições de insolação e vários outros que discutiremos nos itens seguintes.

Na curva espectral da energia refletida x comprimento de onda da Figura 3.06, pode-se perceber que a radiação incidente sobre a água limpa é refletida muito pouco na região do visível e totalmente absorvida na região do infravermelho. Já a radiação que incide no dóssel de uma vegetação na região do visível é muito pouco refletida, enquanto que a radiação que é refletida na região do infravermelho próximo tem uma reflectância muito alta e picos de reflectância na região do infravermelho médio. Por sua vez, solos têm uma reflectância mais regular em relação à água e à vegetação, a reflexão em solos na maioria das vezes aumenta com o comprimento de onda.

Os principais alvos que serão abordados neste estudo são: solo, vegetação e água. São estes os que mais interagem com a radiação que consegue chegar à superfície terrestre. A Figura 3.06 mostra a resposta espectral de alguns alvos na superfície terrestre.

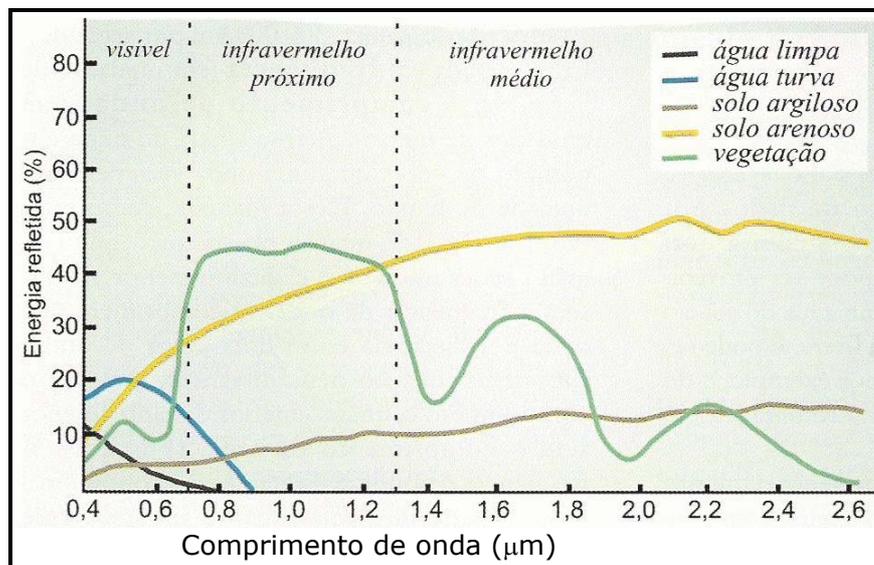


FIGURA 3.06 – Comportamento espectral de vários alvos
(Fonte: Florenzano, 2002).

3.2.4.1 - Solo

A camada superficial da Crosta Terrestre, denominada solo, é originada a partir da desintegração ou decomposição da rocha mãe, através de processos químicos e/ou físicos. Dependendo do local e das condições ambientais uma mesma

rocha dá origem a solos diferentes, podendo estes ser identificados através de técnicas de sensoriamento remoto. O conhecimento da textura do horizonte que se encontra na superfície é extremamente importante, pois a radiação interage com os constituintes do solo em maior ou menor intensidade, isso depende também da granulométrica do solo (Moreira, 2003).

A resposta espectral dos solos depende dos tipos e quantidades de componentes químicos, físicos e mineralógicos presentes nos mesmos. Em determinados intervalos de comprimento de onda ocorrem feições características que podem ser correlacionadas com os componentes dos solos estudados (Formaggio, 2001). Por exemplo, solos arenosos têm uma capacidade de reflectância muito grande e quando registrada por algum sensor, apresenta uma tonalidade bastante clara em relação a solos argilosos.

Através da assinatura espectral é possível identificar algumas características dos solos, como a presença de diferentes óxidos de ferro e em quantidades diferentes. Geralmente os óxidos de ferro absorvem muito a radiação eletromagnética no infravermelho próximo (com pico de absorção em torno de 900 nm), e a quantidade de energia absorvida depende da quantidade de óxido presente no solo (Moreira, op. cit.).

A presença de matéria orgânica no solo é fundamental para a sobrevivência das plantas, porém um percentual pequeno em torno de 2% influencia bastante a reflectância do solo (Moreira, op cit.). Quanto maior a presença de matéria orgânica no solo, menor será a reflectância no intervalo de comprimento de onda de 400 a 2.500 nm.

Outro fator que influencia a reflectância dos solos é a rugosidade, em muitos casos as práticas agrícolas exigem a aração dos solos, este processo quebra o solo e deixa a sua superfície mais irregular aumentando de 15 a 20% sua reflectância em relação àqueles com estrutura bem definida (Obukov e Orlov, 1964 apud Moreira, op. cit.).

A umidade dos solos tem um papel importante na resposta espectral, uma vez que a presença da água interfere bastante na radiação refletida. Os solos úmidos têm uma aparência escura visto em uma imagem, isto se deve a absorção da radiação pela água e em consequência uma baixa reflexão na região do espectro do visível e infravermelho próximo (Moreira, op. cit.). Por essa razão um sensor pode registrar diferentes níveis de radiações para um mesmo solo, dependendo da estação do ano. Contudo, não é só a umidade que influencia a reflectância ao longo do ano, existem outros fatores como vegetação, nuvens, aerossóis, vapor de água, condições atmosféricas entre outros. A distribuição do tamanho e forma das

partículas também influenciam a radiação refletida em solos com a mesma composição.

Portanto as interferências na radiação refletida por um solo não são ocasionadas por um único fator, e sim por um conjunto de fatores ou características que com uma maior ou menor intensidade tem sua participação na quantidade de radiação refletida. Porém alguns fatores se sobrepõem a outros, ocasionados pela sua maior presença no solo ou sua maior influência.

3.2.4.2 - *Vegetação*

A radiação solar que consegue atravessar a atmosfera terrestre e atingir a vegetação gera três processos diferentes: 1) absorção que corresponde à parte da energia que a planta usa em suas reações fotoquímicas, esta parcela da energia é vital para a sobrevivência da planta; 2) reflexão que é a parcela que volta para o espaço e é registrada pelos sensores passivos que são usados no sensoriamento remoto; e, 3) a transmissão, parcela de radiação que consegue passar através das camadas das folhas. Essas três parcelas da radiação obedecem à lei da conservação da energia, pois a soma das três é igual à radiação incidente. (Moreira, op. cit.).

A quantidade de energia absorvida, refletida e transmitida varia em função do tipo de vegetação, estágio em que se encontra a plantação, espaçamento entre elas, tipo de dossel, comprimento de onda e principalmente se as plantas estão saudáveis ou não.

Na agricultura a parte mais importante da radiação que incide é a absorvida pela planta, porém essa parcela não é quantificada de maneira direta pelos sensores a nível sub-orbital e orbital. Essa parcela é quantificada a partir da parcela que é refletida e registrada pelos sensores.

Para o sensoriamento remoto a parcela da energia mais importante é a refletida pelos alvos, por esta razão a maioria dos sensores orbitais consegue registrar a radiação que está em faixas do espectro refletido pelos alvos.

São três os principais mecanismos que influenciam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelas folhas: pigmentos, espaços ocupados pela água e pelo ar e estruturas celulares com dimensões do comprimento de onda da radiação incidente (Gates et al, 1965 apud Moreira, op. cit.). Além destes fatores existem outros que afetam a reflexão, como a quantidade de água presente nas folhas, idade das folhas e condições de iluminação.

A Figura 3.07 mostra o comportamento do espectro de reflectância de uma folha de vegetação verde saudável com pequenos intervalos de absorção alta da

radiação em torno dos comprimentos de ondas 1.400 nm e 1.950 nm, ocasionados pela presença de água nas folhas.

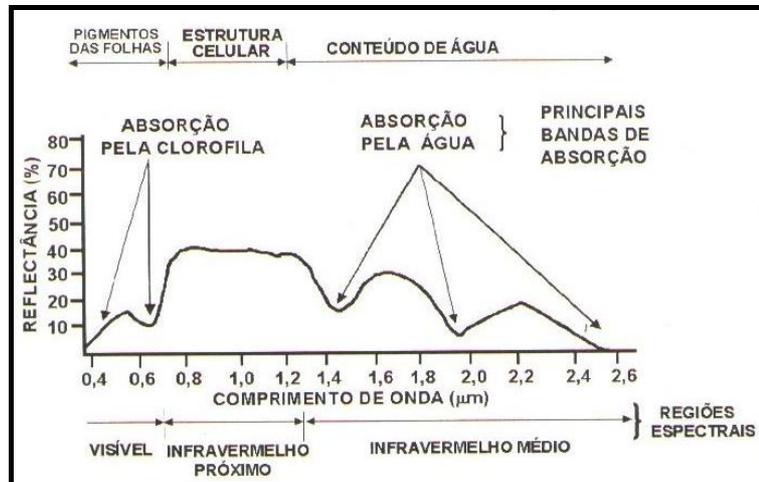


FIGURA 3.07 – Espectro de reflectância de uma folha de vegetação verde e sadia. (Fonte: adaptada de Hoffer, 1978).

Na realidade a radiação refletida por uma vegetação não é somente aquela refletida pelas folhas, também existe a parte refletida pelos galhos, solos (no caso da vegetação não cobrir totalmente o solo) e outros objetos que se encontram no local.

3.2.4.3 - Água

A água está presente tanto no solo como na vegetação e a sua presença pode influenciar de maneira significativa a resposta espectral nestes alvos. Com isso a presença da água em um solo modifica a assinatura espectral deste em comparação com o mesmo solo, mas no estado seco. Dependendo do estado em que se encontra a água, a mesma tem resposta espectral bastante diferente. Isso pode ser visualizado na Figura 3.08

A água no estado líquido e sem a presença de sedimentos em quantidades significativas absorve quase toda a radiação com comprimento de onda abaixo de 380 nm e acima de 700 nm, e, mesmo no intervalo de 380 a 700 nm, a reflectância é muito baixa. Já no estado gasoso, ou vapor d'água, a reflectância é bastante elevada no intervalo de 400 nm, a 2.500 nm, porém observam-se algumas faixas do espectro em que a absorção é um pouco maior em relação a outras regiões do espectro. E no estado sólido seu comportamento é bastante diferente em relação aos estados líquido e gasoso.

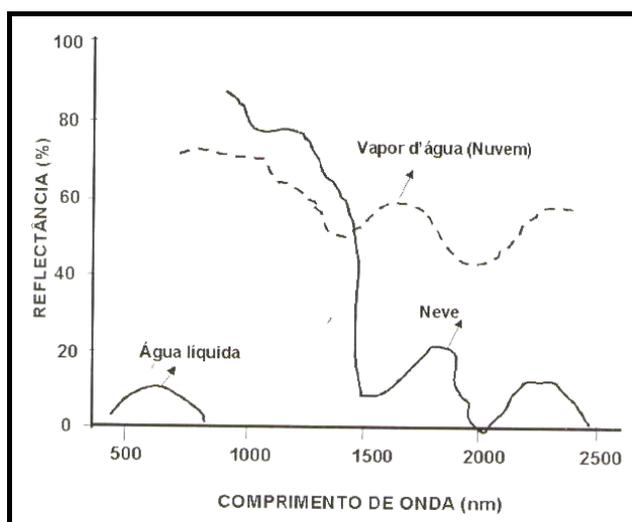


FIGURA 3.08 – Curvas de reflectância da água nos estados líquido, gasoso e sólido (Fonte: adaptado de Bowker et al., 1985).

3.2.5 - Processamento digital de imagem

O processo de tratamento de imagem consiste em uma melhoria na visualização e correção de alguns defeitos na imagem gerados pelo sensor. O pré-processamento é fundamental para a remoção de algumas interferências na imagem não provenientes dos alvos, mas sim dos sensores (ruídos), efeitos atmosféricos e outras distorções que possam de alguma maneira interferir em um processamento posterior (Rojas, 2005).

3.2.5.1 - Pré-processamento

Os sensores de um modo geral produzem imagens que têm uma série de distorções espaciais, não possuindo precisão cartográfica com relação à posição dos objetos na imagem. As distorções têm várias origens, sendo algumas delas ocasionadas pela rotação da Terra, erros nos instrumentos que registram a imagem, variações de velocidade da plataforma, variações da altimetria, campo de visada (Richards, 1995 apud Rojas, op. cit.). Podem ainda influenciar, a curvatura da Terra, o movimento do espelho de imageamento, a distorção de panorama e a distorção topográfica (Sulsoft, 2004).

As técnicas usadas em tratamento de imagens, com o objetivo de fazer a correção geométrica, correção atmosférica e radiométrica são utilizadas respectivamente para ajustar as linhas e colunas das imagens; para amenizar os efeitos de interferência atmosférica e para normalizar a radiometria das imagens

(Silva et al, 2003).

Recomenda-se que a seqüência do processo de tratamento de imagens multitemporal seja: correção geométrica, correção atmosférica e em seguida a correção radiométrica ou normalização. É claro que a correção radiométrica pode ser feita sem a correção atmosférica, porém em uma série temporal de imagens, só há a necessidade de corrigir atmosféricamente apenas uma imagem, pois a normalização garante o ajuste radiométrico entre as imagens (Silva et al, op. cit.).

i - Correção geométrica e registro de imagens

O registro é um tipo de transformação da imagem no espaço de forma que duas imagens em épocas diferentes sejam coincidentes no espaço (Rojas, op. cit.), sendo que uma é a imagem de referência e a outra é a imagem a ser registrada. Para tal operação é usada uma função de mapeamento polinomial, sendo de primeira, segunda ou terceira ordem. Os coeficientes desta função são estimados em função de um conjunto de pontos na imagem e em um mapa. Esses pontos são considerados como sendo pontos de controle e podem ser algum objeto facilmente identificável na imagem, como o cruzamento de duas vias, encontro de dois rios e outras feições.

ii - Correção atmosférica

Entre os efeitos ocasionados pela presença da atmosfera no registro das imagens estão a diminuição da faixa de valores digitais possíveis registrados pelo sensor, a diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e a alteração do brilho de cada ponto na imagem (Zullo Jr. et al, 2006). Os gases (vapor d'água, oxigênio, ozônio e dióxido de carbono) e os aerossóis (pequenas partículas materiais, diferentes da água e do gelo, em suspensão com raio variando de 0,10 μm a 10 μm) absorvem e espalham a radiação solar (Zullo Jr. et al, op. cit.).

Em muitas situações ocorre a necessidade de estudar o comportamento espectral dos alvos, na superfície o que faz necessária a transformação da imagem que está em DN (Digital Number) para reflectância na superfície. Isto é preciso para tornar possível a comparação de imagens de diferentes sensores em diferentes datas ou épocas do ano, ou ainda, o uso de biblioteca espectral para comparar a resposta espectral dos *pixels* com a biblioteca, entre outros motivos. Na transformação de DN's para reflectância na superfície, é necessário usar algum modelo de correção atmosférica que geralmente usa parâmetros relacionados ao sensor, local, data, hora, altura média da cena, entre outros parâmetros característicos do modelo. Esses parâmetros na maioria dos casos acompanham as imagens.

A radiância é a quantidade de energia refletida pelo alvo expressa, em geral, em unidades de W/Esterradiano/m²/μm. Já a reflectância aparente é um valor adimensional que representa a relação entre o fluxo que é refletido e chega ao sensor e o fluxo que incide no alvo. Quando essa radiação chega ao sensor, ela tem sofrido interferência da atmosfera ocasionada pelos aerossóis, partículas pequenas em suspensão e moléculas de vapor de água na atmosfera. Para calcular a reflectância na superfície é necessário usar um modelo de correção atmosférica para remover as interferências atmosféricas e calcular a radiação que realmente o alvo reflete. Após a correção atmosférica, é possível comparar a resposta espectral de um *pixel* da imagem com a resposta espectral de um alvo registrada através de um espectrorradiômetro. Este aparelho é usado para registrar a assinatura espectral de um alvo qualquer, isto é, a quantidade de energia refletida pelo alvo. Este valor pode ser expresso em forma de gráfico em que o eixo Y representa a reflexão, variando entre 0 e 1, e o eixo X o comprimento de onda.

Os modelos de correção atmosférica são aplicados para amenizar a interferência da atmosférica em todo o trajeto da radiação que atravessa a atmosfera até o sensor do satélite. Para tanto, existem vários modelos que são usados na correção atmosférica de imagens multiespectral.

As imagens de satélites multiespectral geralmente encontram-se com a resposta espectral em DN. Este valor é referente a um número que o sensor do satélite associa a cada nível de energia, a qual é refletida pelo alvo na superfície da Terra e chega ao sensor. Para imagens com uma resolução radiométrica de 8 bits, este número varia entre 0 e 255. No entanto, a radiação solar que chega ao sensor de um satélite em órbita sofre a interferência da atmosfera, tanto na passagem em direção ao alvo na superfície, quanto no retorno em direção ao sensor.

As imagens multiespectrais são submetidas a correções atmosféricas que, para tal, podem ser utilizados modelos complexos que utilizam códigos de transferência radiativa, ou modelos mais simples, baseados na presença de objetos escuros na cena (Chavez, 1988 apud Silva et al, 2003). Esses dois tipos de modelos estimam as condições atmosféricas e de iluminação no momento da passagem do satélite (Silva et al, op. cit.).

As correções atmosféricas podem ser feitas através de modelos de transferência radiativa ou através de métodos empíricos (Mather, 1999 apud Antunes et al, 2003). Um dos métodos empíricos mais utilizados é a subtração do valor do *pixel* mais escuro (Chavez, op. cit. apud Antunes op. cit.) ou o método DOS (*Dark Object Subtraction*). Este último estima a correção a partir da imagem onde a interferência em cada banda espectral é estimada, e, em seguida, é

realizada a transformação de DN para valores em radiância e depois para reflectância (Gürtler et. al, 2005). É possível ver mais detalhes sobre correção atmosférica no trabalho de Gürtler et al. op. cit.), o qual faz um desenvolvimento teórico da aplicação dos métodos DOS, e aplica o mesmo em imagens LANDSAT TM e ETM+. Para utilizar esta planilha faz-se necessário fornecer os parâmetros referentes a cada sensor para que a mesma possa fazer a correção atmosférica.

A correção atmosférica altera bastante os valores de reflectância em algumas bandas (Fonseca, 2005), pois os efeitos de absorção e espalhamento atuam em menor ou maior escala, e este fato depende do comprimento de onda ou das bandas em que o sensor registra a imagem.

O trabalho de Antunes et al (op. cit.) mostra a correção atmosférica usando o modelo 6S para uma imagem LANDSAT 5 TM e outra imagem LANDSAT 7 ETM+, ambas da mesma região, só que em épocas diferentes. Neste trabalho foi realizada a coleta de amostras de vários alvos da imagem, água do mar, água represada a uma altitude de 430 m, vegetação a uma altitude de 20 m, vegetação a uma altitude de 1.540 m e área urbana. Em seguida, a imagem foi corrigida e comparada com a reflectância dos *pixels* sem correção com aqueles corrigidos. Observou-se que a interferência é bem significativa, o que pode ser visto na Figura 3.09. Nesta mesma figura observa-se a comparação entre a reflectância corrigida e sem correção da vegetação a uma altitude de 20 m. Para comprimentos de ondas menores ou bandas baixas, isto é, na região do visível, verificamos uma adição na radiação da reflectância sem correção. Porém, em banda com comprimentos de onda maiores, na região do infravermelho próximo e médio, verificamos uma absorção da radiação, sendo que a imagem após a correção adquiriu uma reflectância maior em relação à imagem sem a correção. Isto é uma característica deste alvo, porém para cada alvo existem bandas em que a reflectância aumenta ou diminui, ou até mesmo, alvos em que só acontece aumento ou diminuição. Isso pode ser comprovado após a correção atmosférica.

Os demais resultados encontram-se no trabalho de Antunes et al (2003), este trabalho mostra a importância da correção atmosférica, pois em muitos casos a atmosfera mascara bastante a resposta espectral dos alvos.

Para a correção atmosférica existem vários modelos, alguns com algumas limitações em relação à disponibilidade de dados de entrada. Entre estes modelos pode-se citar: o MODTRAN4, o 6S, o 5S e o de Subtração de pixel escuro. O modelo 6S é livre e pode ser encontrado na *internet*, porém modelos mais sofisticados necessitam de licença para a sua utilização.

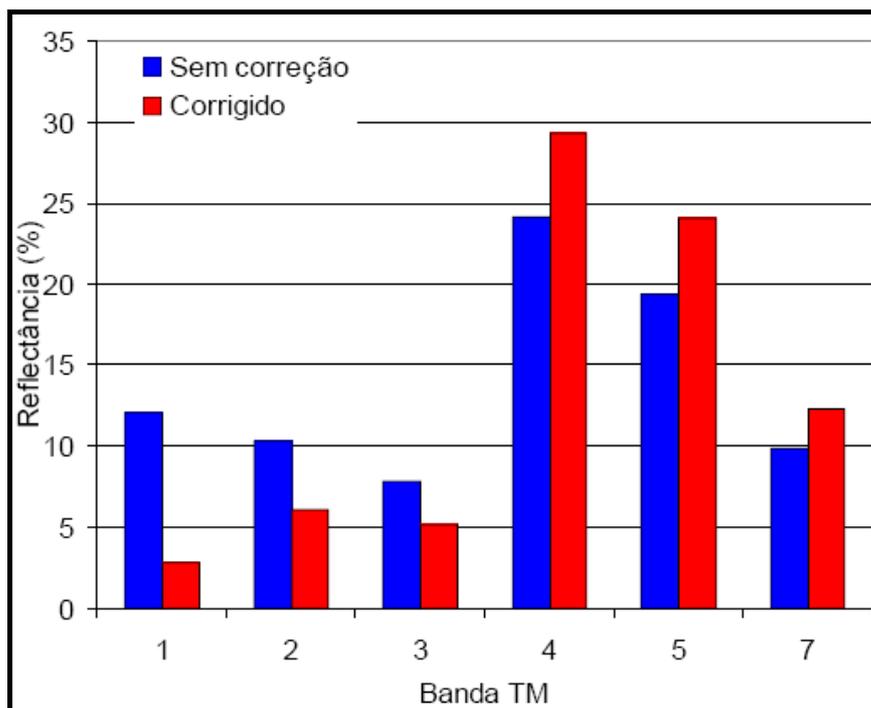


FIGURA 3.09 – Reflectância da vegetação a uma altitude de 20 m sem correção e corrigida pelo modelo 6S, sensor TM. Média de 25 pixels. (Fonte: Antunes et al, op. cit.).

Os modelos de transferência radiativa mais usados, segundo Gürlér et al (2005), são conhecidos como o 5S (*Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) e o 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*; Vermote et al., 1997).

Os modelos de transferência radiativa são mais eficientes que o DOS, pois os mesmos realizam a correção atmosférica da imagem de satélite baseada em parâmetros da atmosfera, sendo estes relacionados à data e horário em que o sensor registrou a imagem, parâmetros relacionados à visibilidade da atmosfera, e o local onde foi registrada a imagem. Por estas razões estes modelos permitem um embasamento físico melhor (Antunes et al, 2003).

Para modelos de correção atmosférica como o 6S e MODTRAN4 (*Moderate Atmospheric Radiance and Transmittance*), é difícil estimar os parâmetros atmosféricos que estão atuando na imagem, sendo assim feito simplificações e uso de modelos padrões de atmosfera (Silva e Valfrano 2003).

Para a reflectância na superfície, a precisão do método de transferência radiativa e o modelo atmosférico têm uma influência significativa (Rojas, 2005). Avaliações feitas com o uso de imagens LANDSAT-TM demonstram que as imagens sem correção atmosférica subestimam o valor do Índice de vegetação (NDVI) de

superfícies com vegetação em até 0.2, podendo isto ocasionar erros nas estimativas de biomassa da ordem de 140%. (Rojas, op. cit.).

Para a transformação de uma imagem de DN para radiância assume que a relação entre radiância e DN é linear (Luiz et al, 2003) e a transformação de DN para reflectância possibilita a análise de imagens de uma mesma área registrada pelo sensor do satélite em épocas diferentes. (Loebmann 2005).

O modelo MODTRAN usa modelos atmosféricos e modelos de aerossóis que visam a avaliação de alguns parâmetros referentes às condições atmosféricas no momento da retirada da imagem. O módulo FLAASH 4.2 (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), integrado ao programa ENVI, usa o modelo de correção atmosférica MODTRAN (*MODerate resolution atmospheric TRANsmittance and radiance code*; Acharya et al., 1999, Stamnes, 1988). Esse módulo pode tratar tanto imagens multiespectrais quanto hiperespectrais na correção do efeito atmosférico, incluindo vapor d'água, oxigênio, dióxido de carbono, metano, ozônio, espalhamento de aerossol e outros efeitos adjacentes.

A escolha do tipo de atmosfera é de acordo com a temperatura da área na superfície, que, caso não seja possível adquirir este parâmetro, a escolha faz-se através da latitude onde se encontra a imagem (Manual do FLAASH, 2005). A Tabela 3.05 mostra as várias latitudes a serem usadas para a escolha do modelo atmosférico, sendo que para uma mesma latitude este modelo pode sofrer algumas mudanças, dependendo da época do ano.

TABELA 3.05 – Seleção do Modelo Atmosférico baseado na Latitude/Mês do ano dependendo da temperatura da superfície.
(Fonte: Manual do FLAASH, 2005).

Latitude	Janeiro	Março	Maio	Julho	Setembro	Novembro
80°	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW	SAW
70 °	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60 °	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50 °	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40 °	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30 °	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20 °	T	T	T	T	T	T
10 °	T	T	T	T	T	T
0 °	T	T	T	T	T	T

(continua)

(continuação)

Latitude	Janeiro	Março	Maior	Julho	Setembro	Novembro
-10 °	T	T	T	T	T	T
-20 °	T	T	T	MLS	MLS	T
-30 °	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40 °	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50 °	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60 °	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70 °	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80 °	MLW	MLW	MLW	SAW	MLW	MLW

A Tabela 3.06 apresenta as quantidades de vapor de água e temperatura na superfície para o modelo atmosférico a ser adotado pelo MODTRAN.

TABELA 3.06 – Vapor de água e temperatura na superfície (Fonte: Manual do FLAASH, 2005).

Modelo atmosférico	Vapor d'água (std atm - cm)	Vapor d'água (g/cm ²)	Temperatura superficial atmosférica
Inverno sub-ártico (SAW)	518	0.42	-16 ° C ou 3° F
Inverno média latitude (MLW)	1060	0.85	-1° C ou 30° F
Padrão U.S (US)	1762	1.42	15 ° C ou 59° F
Verão sub-ártico	2589	2.08	14 ° C ou 57° F
Verão média latitude (MLS)	3636	2.92	21 ° C ou 70° F
Tropical (T)	5119	4.11	27 ° C ou 80° F

O modelo de aerossol está relacionado com a visibilidade horizontal no momento em que o sensor registra a imagem, no entanto a diferença entre esses modelos está vinculada à quantidade de aerossóis existente para as diversas situações. Esta visibilidade é caracterizada por uma distância na horizontal a qual depende da quantidade de aerossóis. O conceito de visibilidade está associado à distância horizontal em que se consegue visualizar um objeto a olho nu. Os vários modelos usados no FLAASH são:

- Rural – representa áreas onde os aerossóis encontrados não são afetados fortemente por zonas urbanas e fonte industrial;
- Urbana – uma mistura de 80% de aerossol rural com 20% de áreas urbanas de alta densidade e com presença de áreas industriais;
- Marítimo – representado pela camada limitada pelos oceanos ou costas litorâneas que recebem diretamente o vento proveniente do oceano;
- Troposférico – usado em situações de boa visibilidade em que se consegue uma visibilidade em torno de 40 km sobre a superfície.

Os modelos Rural, Urbano e marítimo são caracterizados pela presença de aerossóis em massas de ar que estão situadas nestas regiões. Já o modelo troposférico é caracterizado por uma visibilidade muito elevada em relação aos demais, existindo a possibilidade de não usar os modelos de aerossóis desde que se opte por esta situação.

iii - Retificação Radiométrica.

Quando há necessidade de comparar imagens de sensores diferentes ou imagens registradas em datas diferentes é necessário fazer a retificação radiométrica. Esta técnica consiste em usar uma imagem de referência para que a outra seja retificada, ou seja, simular as mesmas condições atmosféricas da imagem de referência para a imagem a ser retificada. É como se a imagem retificada tivesse sido registrada na mesma data e hora da imagem de referência (Hall et al, 1991 apud Rojas, 2005), eliminando-se, assim, as diferenças atmosféricas em datas diferentes, como a iluminação, permanecendo as variações referentes às respostas espectrais dos alvos (Silva et al, 2003).

Dessa maneira, a retificação radiométrica altera as condições atmosféricas e de iluminação de uma imagem qualquer para aquela usada como referência (Hill e Sturn, 1991 apud Rojas, op. cit.). A retificação é vista como um processo para minimizar degradação de detectores, ângulos solares e efeitos atmosféricos, garantindo que as variações detectadas sejam apenas do alvo estudado (Hall et al, op. cit. apud Fonseca e Gleriani 2005). A sua aplicação não é muito comum, sendo somente recomendada em estudos da trajetória espectral de alvos terrestres em diferentes datas de passagem do satélite (Moreira, 2003).

Em imagens multitemporais a normalização atmosférica é utilizada para amenizar os defeitos e distorções radiométricas, técnica que independe do conhecimento de propriedades atmosféricas e de calibração do sensor (Hall et al., 1991 apud Silva et al., 2003).

3.2.5.2 - *Tratamento de imagens*

Com o avanço tecnológico surgem cada vez mais sensores para coleta de dados através de satélite cuja resolução espacial, espectral e radiométrica têm passado por um intenso aperfeiçoamento e melhoria na qualidade dos programas de processamento de imagens. Isso ocorreu ao longo dos anos desde os primeiros satélites com sensores para coleta de dados da Terra. As imagens coletadas por sensores remotos possuem algumas características especiais, entre elas estão sua estrutura e sua resolução (Crósta, 1992).

3.2.5.3 - *Classificação de imagens*

Os métodos de classificação consistem em agrupar os pixels que representam o mesmo alvo na superfície da Terra ou mesmo uso do solo. Como exemplo pode-se citar: água, vegetação, solo exposto culturas entre outros. O agrupamento destes pixels gera um mapa digital temático dos vários usos do solo.

Plotando-se em um histograma bidimensional (Figura 3.10) os *pixels* de duas bandas, definimos o espaço de atributos onde temos nos eixos X e Y a distribuição dos pixels correspondentes a estas bandas, sendo possível assim identificar *pixels* de diferentes materiais.

Os *pixels* são organizados de acordo com os valores de DN (Digital Number), variando de 0-255. Neste histograma, um *pixel* de um material "B" tem em uma banda um DN igual a 200 e em outra banda um DN igual a 100. Esta resposta espectral possibilita a sua classificação, porém se diferentes materiais têm a mesma resposta espectral em duas bandas, distingui-se os materiais através de outra banda onde estes materiais tenham respostas diferentes.

Na prática a classificação de um determinado uso do solo é feita com base em uma amostra contendo as respostas espectrais deste uso. Isso é necessário, pois ocorrem variações na energia refletida por diferentes *pixels* do mesmo alvo, variação esta atribuída à mistura dos materiais, iluminação da cena no momento da passagem do satélite, ruídos e outras imperfeições que prejudicam a qualidade de alguns *pixels*. A Figura 3.10 mostra os valores de DN's de três *pixel* em duas bandas diferentes.

Ao analisar as respostas espectrais de dois materiais diferentes, poderá ocorrer a sobreposição das respostas espectrais em duas bandas, impossibilitando assim a separação dos mesmos com base nestas duas bandas. Faz-se necessária a introdução de uma nova banda para garantir a possibilidade de classificação. Quanto maior o número de bandas maior será a precisão na classificação.

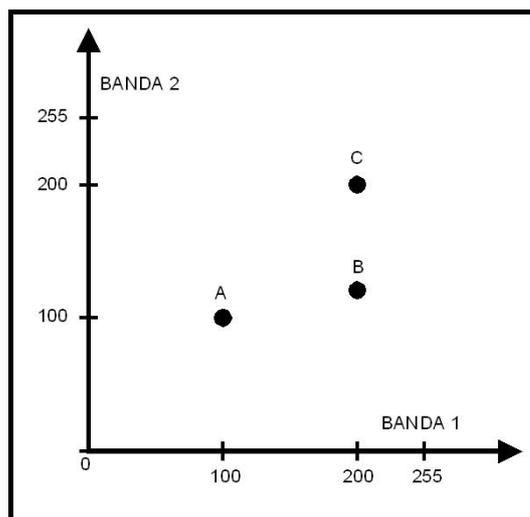


FIGURA 3.10 – Características de três tipos diferentes de pixel
(Fonte: Crósta, 1992).

Algumas regras básicas no processo de classificação são citadas por Crósta (op. cit.): 1. assume-se que um conjunto de classes foi previamente determinado antes de se iniciar a classificação, e que estas classes possuem propriedades bem conhecidas; 2. assume-se que qualquer *pixel* na imagem, teoricamente, pertence, necessariamente, a uma destas classes; 3. as classes podem ser definidas usando algumas propriedades observáveis na cena e não apenas valores de reflectância.

Um dos problemas da classificação é a grande complexidade dos materiais, com isto nem sempre é possível classificar todos os usos do solo, por isto é essencial uma verificação após a classificação. Esta verificação é feita com o máximo de informações possíveis das classes, podendo estas informações serem obtidas em campo, mapas ou estudos anteriores.

A grande maioria das técnicas de classificação baseia-se no agrupamento de valores de intensidade espectral, porém as informações de uma imagem baseiam tanto na intensidade de cada *pixel*, como também na textura e forma como está o arranjo dos *pixels* espacialmente.

A classificação baseada na resposta espectral divide-se em dois grandes grupos: não supervisionada e supervisionada. Na classificação não supervisionada não há a necessidade da definição de áreas de treinamento ou amostras, o modelo usado se encarrega de definir as classe e agrupar os *pixels* nas classes com uma maior afinidade.

Já na Classificação Supervisionada, o operador define a quantidade de classes e as amostras que serão usadas no processo de classificação. Esta classificação na maioria das vezes faz uso de testes estatísticos para decidir a qual classe pertence

cada *pixel* da imagem. Mesmo assim vários *pixels* ficam sem classificação, obrigando assim o operador a redefinir suas amostras e os parâmetros de classificação.

i - Classificação não supervisionada

Neste tipo de classificação, o algoritmo faz o trabalho de escolher as áreas de treinamento e em seguida classifica todos os pixels da imagem. Nesta metodologia são analisados todos os *pixels* na imagem e verifica-se em quais DNs (Digital Number), ocorre uma concentração maior do número de *pixels*. Com esta análise, as classes são definidas e, em seguida, um método qualquer de classificação supervisionada pode ser empregado, sendo o mais usado o da Máxima verossimilhança (Crósta, 1992).

O método faz um agrupamento de *pixels* e a partir da análise de agrupamento e com os parâmetros fornecidos é gerada a classificação, este agrupamento consiste em agrupar *pixels* que têm resposta espectral próxima.

A Figura 3.11 mostra o resultado de um agrupamento usando duas bandas. Nesta figura podemos perceber, em algumas regiões, a concentração do número de *pixel*, que é visto através das isolinhas.

De maneira prática o operador fornece o número de classes, ou um intervalo, e o algoritmo faz a classificação, escolhendo as áreas de treinamento. Outra maneira é limitar uma concentração mínima de *pixels* em que concentrações superiores a um determinado valor serão consideradas como uma nova classe, e concentrações menores a este valor são agregadas às classes existentes. Neste último método, o número de classes é definido a partir da quantidade de *pixels* que se encontram acima de um determinado valor pré-estabelecido.

ii - Classificação supervisionada

Na classificação supervisionada é feita a escolha das áreas de treinamento ou amostras que representam cada classe. Para obter bons resultados é necessário que a pessoa que está escolhendo as amostras tenha de preferência algum conhecimento da região onde foi registrada a imagem. Este conhecimento ajuda bastante na escolha das áreas que representam as áreas de treinamento.

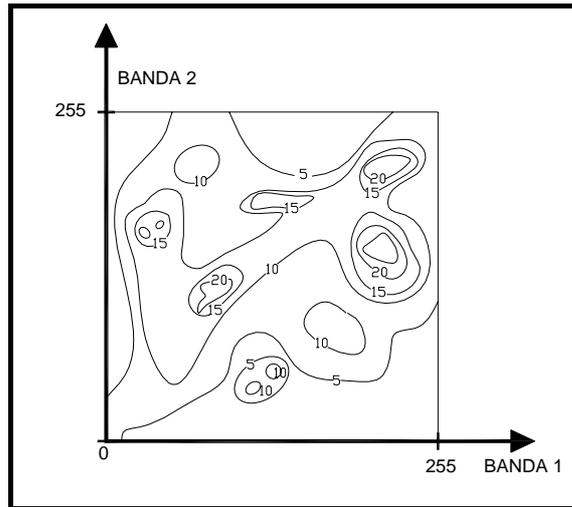


FIGURA 3.11 – Espaço de atributos com densidade de todos os *pixels*
(Fonte: Crósta, op. cit.).

Esta metodologia consiste em comparar *pixels* das áreas de treinamento com DN's (Digital Number), conhecidos da imagem, a fim de classificar cada *pixel* da imagem de acordo com as áreas de treinamento. O produto final desta classificação é um mapa temático em que são definidas as áreas pertencentes a cada classe, porém em muitos casos, dependendo do método de classificação supervisionada, ainda restam muitos *pixels* sem classificação. Logo, faz-se necessária uma nova classificação redimensionando os parâmetros da classificação. Na realidade este mapa temático é uma imagem, sendo atribuído a cada *pixel* da imagem uma classe que é apresentada no monitor do computador em cores ou em tons de cinza. Os principais métodos de classificação supervisionada são: Métodos do Paralelepípedo, Método da Distância Mínima, Método da Máxima Verossimilhança (MAXVER) e o *Spectral Angle Mapper* (SAM).

O método do paralelepípedo consiste em uma área no espaço de atributos, definido pelas bandas em forma de um paralelepípedo, onde se encontram nos limites *pixels* com DN's máximo e mínimo para a referida classe. Neste método os *pixels* que estiverem dentro deste paralelepípedo pertencerão a esta classe. A Figura 3.12 ilustra este método graficamente.

A distribuição dos *pixels* no espaço de atributos encontra-se geralmente ao longo de um eixo de 45°, portanto, quando definimos um paralelepípedo poderá ocorrer que *pixels* sejam classificados erroneamente, ou seja, *pixels* que não pertence à classe a qual ele foi classificado, no entanto muitos *pixels* deixarão de ser classificados, pois eles estão fora do paralelepípedo que define a classe.

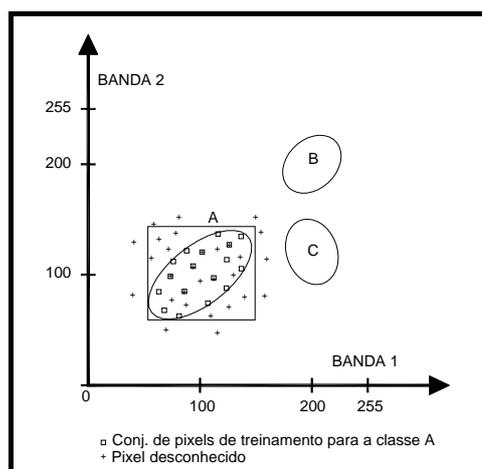


FIGURA 3.12 – Diagrama do espaço de atributo das classes A, B, e C
(Fonte: Crósta, 1992).

Após a escolha das amostras para representarem as classes e usando duas bandas, sendo os valores dos DN's, de uma, colocados no eixo X e os valores correspondentes da outra no eixo Y, pode-se supor que as regiões pertencentes a cada área de treinamento comportam-se como fossem uma nuvem de *pixels* em forma de uma elipse. Com esta nuvem de *pixels* calcula-se algumas estatísticas e uma delas é a média que fica próximo ao centro da elipse.

O método das distâncias mínimas compara a distância de cada *pixel* desconhecido ao ponto onde ficam as médias das classes. A que tiver a menor distância é a classe a qual será classificada o *pixel* desconhecido.

A Figura 3.13 ilustra o método. O *pixel* de número 1 desconhecido encontra-se mais próximo da classe A e, portanto, é classificado como pertencente à classe A, já o *pixel* 2 é atribuído à classe B pela mesma razão.

Em uma situação em que o *pixel* encontra-se a mesma distância das médias de duas classes é lógico que ele pertença à classe de maior tamanho, porém neste método não é possível resolver esta questão. Isto só é possível em métodos que possam ponderar o peso de cada classe.

A questão levantada anteriormente pode ser resolvida através do método supervisionado Máxima Verossimilhança (MAXVER). Este método usa parâmetros estatísticos para ponderar as distâncias médias das classes, com isso os cálculos se tornaram mais complexos e o tempo de processamento computacional é bem maior. O MAXVER tem como vantagem o fato de que o usuário pode interferir no processo classificatório, aumentando a qualidade da classificação (Campbell, 1997 apud Gamba, 2005).

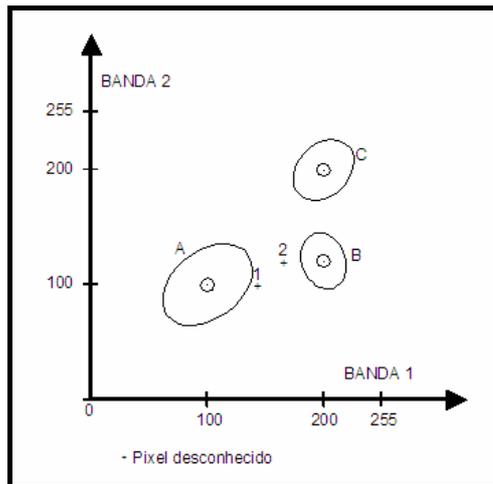


FIGURA 3.13 – Espaço de atributos mostrando a posição da média de cada classe (Fonte: Crósta, 1992).

Este método exige um número maior de *pixels* para as áreas de treinamento na qual serão calculados parâmetros estatísticos, e por esta razão fica difícil visualizar em duas bandas como no método anterior os *pixels* no espaço de atributos. Portanto, a melhor representação é através de isolinhas ou curvas que representam a densidade de *pixels* da área de treinamento para cada região.

O método MAXVER é um dos mais utilizados em sensoriamento remoto dentro da abordagem estatística. É um método considerado paramétrico, pois envolve parâmetros (vetor média e matriz de covariância) da distribuição gaussiana. Calculando estes parâmetros através das amostras de treinamento que são escolhidas e fornecidas a este classificador, o mesmo estima os parâmetros necessários à classificação.

Este método considera a ponderação das distâncias entre os *pixels* a serem classificados e as médias dos níveis digitais das classes utilizando parâmetros estatísticos. A distribuição de valores de reflectância em uma área de treinamento é descrita por uma função de densidade de probabilidade, desenvolvida com base na estatística Bayesiana. Também pode ser visto como sendo uma distribuição de probabilidade do tipo gaussiana e multivariada, que tem a capacidade de distribuir as classes em um espaço de atributos (Shiba et al, 2005). Este classificador avalia a probabilidade de um determinado *pixel* pertencer a uma classe a qual ele tem maior probabilidade de associação. É baseado no princípio de que a classificação errada de um *pixel* particular não tem mais significado do que a classificação incorreta de qualquer outro *pixel* na imagem (Richards, 1993). O processo MAXVER leva em consideração a probabilidade absoluta de um *pixel* pertencer ou não a uma classe (Gamba, 2005).

No processo de classificação usando o MAXVER será atribuído um peso de aceitação que o algoritmo deve assumir em relação aos *pixels* que não se enquadram dentro das amostras usadas na classificação (Sulsoft. 2004). O método MAXVER deve ser aplicado quando o analista conhece bem a imagem para que possa desta maneira escolher regiões de treinamento representativas (Crósta, 1992).

Shiba (2005) usou o algoritmo MAXVER para uma classificação de uma imagem LANDSAT 7 e em seguida usou a mesma imagem para classificação usando a técnica de aprendizagem por árvore de decisão.

A Figura 3.14 representa um exemplo em duas dimensões, porém pode ser estendida para três ou mais, dependendo do número de bandas envolvidas no processo. Nessa figura pode-se verificar que foi usado um ajuste com base em distribuições normais, ou seja, a curva que representa esses *pixels* se ajusta a uma distribuição do tipo Gaussiana.

Os contornos ao redor de cada classe podem ser entendidos como a probabilidade de existir um *pixel* naquele conjunto de treinamento com uma determinada combinação de DN's (Crósta, op. cit.). Os mesmos contornos podem ser vistos como a probabilidade de qualquer *pixel* desconhecido pertencer a uma determinada classe na qual ele for plotado.

A Figura 3.15 mostra como se distribuem as probabilidades de cada *pixel* pertencer a uma determinada classe. Para isso verifica-se onde ele é plotado e observa-se em qual classe ele tem a maior probabilidade de pertencer.

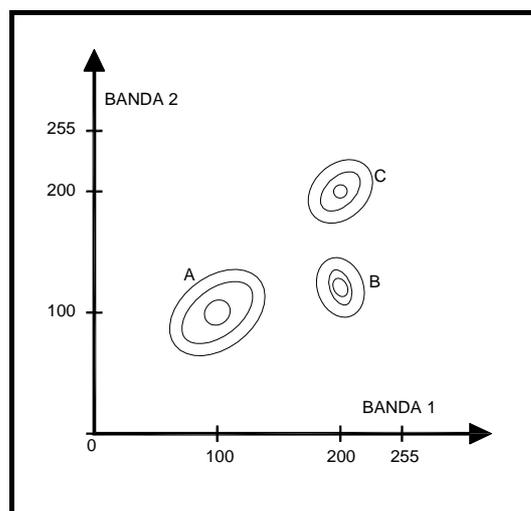


FIGURA 3.14 – Espaço de atributos mostrado na forma de contorno (Fonte: Crósta, op. cit.).

O *pixel* 1 tem 1% de probabilidade de pertencer à classe A e 0% de pertencer à classe B. Já o *pixel* 2, embora esteja mais próximo do valor médio da classe B, tem uma probabilidade maior de pertencer à classe A. O *pixel* 3, por sua vez, encontra-se dentro de dois contornos de duas classes, mas ele tem uma maior probabilidade de pertencer à classe C.

Em duas ou mais classes contínuas existem um limite entre as classes que são definidas pelo encontro de duas curvas que representam a mesma probabilidade de um *pixel* pertencer a uma ou outra classe.

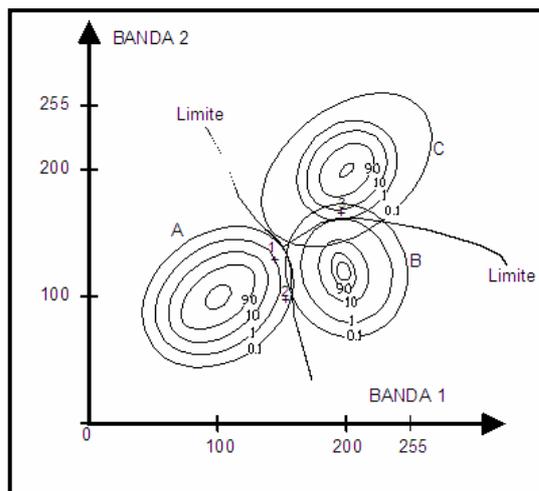


FIGURA 3.15 – Espaço de atributo com os limites de decisão
(Fonte: Crósta, 1992).

Normalmente trabalha-se em mais de duas dimensões e geralmente ocorre recobrimento entre a área de treinamento, isto é vários *pixels* poderão pertencer a mais de uma classe. Isto pode ser solucionado com o método da Máxima Verossimilhança que determina um limite entre as classes. Esse mesmo conceito pode ser visto na Figura 3.16, a qual apresenta funções de distribuição de probabilidades dos DN's de duas classes. No gráfico ocorre uma área comum às duas curvas, sendo os *pixels* dessa área classificados como pertencente à classe 1.

Os métodos de classificação muitas vezes não conseguem classificar todos os *pixels*, porém recomenda-se uma classificação não supervisionada preliminarmente, e, a partir desta e do conhecimento da região por parte do interprete, é que se definem as áreas de treinamento para a classificação.

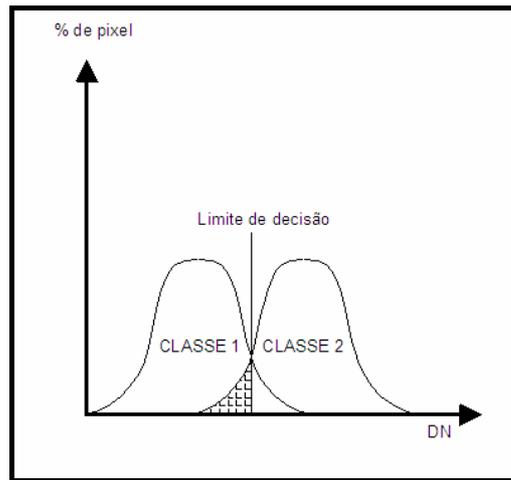


FIGURA 3.16 – Distribuições normais representando duas áreas de treinamento (Fonte: Crósta, 1992).

O *Spectral Angle Mapper* (SAM) é uma técnica de classificação supervisionada, consiste de uma comparação entre espectros coletados de amostras de campo (biblioteca espectral) com os espectros dos *pixels* da imagem (Senna e Filho, 2005). A similaridade entre espectros é medida através de um ângulo existente entre os vetores que serão maiores quanto menor for o ângulo (Loebmanm, 2005).

A classificação usando o SAM considera o conjunto de *pixels* conhecidos como membros extremos, detectando-os como vetores e traçando ângulos em relação aos *pixels* desconhecidos. Quanto menor o ângulo entre os vetores, maior é a correlação entre o conhecido e o desconhecido (Kruse F. A. et al., 1993 apud Vicente, 2005). A classificação de imagens usando o SAM usa o ângulo entre as amostras de treinamento no espaço n-dimensional para identificar os *pixels* de uma determinada classe (Sulsoft, 2004). Esse método aceita usar como dados de entrada da classificação arquivos em formato ASCII, curvas espectrais de biblioteca espectral e regiões de interesse. No processo de classificação usando o SAM, ângulos menores indicam uma relação muito próxima ao espectro de referência, no entanto quando algum *pixel* estiver fora do ângulo máximo definido esses não serão classificados (Sulsoft, 2004). Essa situação é ilustrada na Figura 3.17

3.2.5.4 - Pós-processamento

Após uma classificação supervisionada ou não-supervisionada, Tem-se vários *pixels* soltos envolvidos por vários *pixels* de outra classe. Para resolver esse problema e juntar esses *pixels* às classes mais prováveis que os mesmos venham a pertencer, existem algumas técnicas para fazer esse refino na classificação; pode-se usar um algoritmo de agrupamento ou mesmo um filtro.

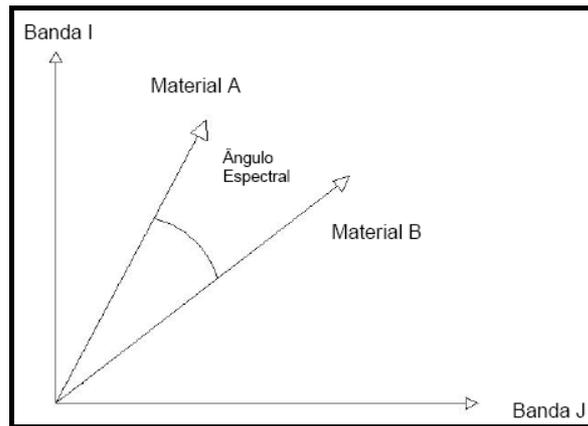


FIGURA 3.17 – Exemplo de SAM bidimensional.(Fonte: Sulsoft, 2004).

i - Avaliação da classificação

Geralmente recomenda-se a aplicação de algum processo de avaliação da exatidão da classificação. Independentemente da aplicação ou não de algum processo de agrupamento ou filtros para melhorar a classificação, é necessário avaliar os resultados da classificação para medir a eficácia do método de classificação usado. Isto pode ser feito com o uso da Matriz de Confusão ou através da estimativa de erros. A Matriz de Confusão é composta por elementos na diagonal principal que expressam a quantidade de *pixels* que foram classificados corretamente, e elementos fora da diagonal que expressam tanto a quantidade de *pixels* que foram incluídos erroneamente em uma classe (erro de inclusão), assim como a quantidade de *pixels* que foram excluídos erroneamente de uma classe (erro de omissão). Essa matriz mostra o quanto o classificador de imagens confunde uma classe com outra. A partir dos dados desta matriz é possível calcular dois Índices: Acurácia Global e o Índice Kappa. A Acurácia Global corresponde à soma dos *pixels* bem classificados, ou seja, a diagonal principal na Matriz de Confusão dividida pelo número total de *pixels*. Esse Índice só leva em consideração os *pixels* bem classificados.

Para medir a eficiência da classificação, ou em outras palavras validar a classificação, é necessário o uso de verdades de campo (áreas testes definidas para avaliar a classificação) que consiste em coletar em campo, ou através de outro artifício que tenha a mesma finalidade, dados referentes às regiões classificadas que posteriormente possam ser comparados com os resultados da classificação. São várias as técnicas para avaliar a exatidão da classificação, entre elas podemos citar: as técnicas baseadas em Matriz de Confusão, técnicas *Fuzzy*, características operador-receptor, entre outras técnicas (Moreira, 2001).

A Acurácia de uma classificação é determinada pela seleção de uma amostra de *pixel* do mapa temático (classificação) e checado então com as classes de referência (Richards, 1993). Os resultados de uma classificação, independentemente do método usado, só podem ser avaliados após a análise da Acurácia dos resultados. Portanto, podem ser comparados os vários métodos usados em uma classificação a partir do nível de acerto de cada método (Rojas, 2005).

Um subproduto da Matriz de Confusão, que auxilia na avaliação do classificador, é o Índice Kappa (k). Uma das vantagens alegadas para uso do Kappa é de que ele também incorpora a informação dos *pixels* mal classificados, e não apenas dos bem classificados como faz a Acurácia Global. O Índice Kappa é um método usado para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático (Iwai, 2003).

O Índice Kappa é um dos parâmetros mais eficiente para se quantificar a exatidão de uma classificação de uso da terra (Ganain et al., 2005). A estatística Kappa inclui todos os *pixels* da imagem, sejam aqueles classificados corretamente, ou aqueles classificados erroneamente (Moreira, 2001 apud Iwai, op. cit.). Este Índice pode ser calculado através da formulação matemática seguinte:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (3.01)$$

Onde r é o número de linhas na tabela de classificação; X_{ii} é o número de combinações ao longo da diagonal; X_{i+} é o número total de observações na linha i; X_{+i} é o número total de observações na coluna i; N é o número total de células; e + representa o somatório de cada linha e coluna. Dividindo-se o numerador e o denominador por N^2 , com:

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (3.02)$$

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N} \quad (3.03)$$

$$\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2} \quad (3.04)$$

Após o cálculo da estatística Kappa utilizando as fórmulas acima, enquadra-se o valor obtido nas faixas de variação do referido Índice conforme a Tabela 3.7, avaliando-se assim a qualidade da classificação. Isto permite fazer uma comparação entre os métodos de classificação.

TABELA 3.7 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa (Fonte: Iwai, 2001 apud Landis e Koch, 1977).

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
<0,00	Péssimo
0,00 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Boa
0,60 - 0,80	Muito boa
0,80 - 1,00	Excelente

Gamba (2005) usou Matriz de Confusão para avaliar as classificações desenvolvidas através do método de classificação supervisionado Fuzzy.

Foram citadas várias técnicas para a avaliação da classificação, mas neste trabalho só iremos explorar a Matriz de Confusão, e com informações desta matriz calcular o Índice Kappa e a Acurácia Global. Estes dois Índices, Kappa e Acurácia Global, são parâmetros fundamentais para avaliar o grau de precisão da classificação. Usando os dados da mesma matriz calcula-se, a Acurácia Global, a qual leva em consideração somente os *pixels* bem classificados.

3.3 - Materiais e Métodos

O mapeamento dos corpos aluvionares foi desenvolvido, de forma sistematizada e conjunta, a partir de uma série de atividades que permitiram a aplicação de várias técnicas de processamento das imagens disponíveis.

Foram abordadas tanto técnicas de fotointerpretação subjetivas, à partir de tratamento visual da imagem (LANDSAT e ASTER), como processamento automático de classificação (ASTER e SPOT).

3.3.1 - Material utilizado

Nesta etapa foram usadas:

- Imagens do sensor ASTER (CENA e-420b5c6b-de02ac-0-1 - 2000-07-05=0034 e CENA e-4219e2c0-eca17d-0-1 - 2001-08-18=1326). Esses códigos de identificação foram retirados dos arquivos de imagens fornecidas pela Empresa que comercializa as imagens no Brasil;
- Imagens LANDSAT 7 ETM+ cenas 216-63 e 217-63 (20/10/2002);
- Imagens SPOT5 (XS-170703 e XS-021002);
- Espectrorradiômetro ASD (*FieldSpec Pro*);
- máquina fotográfica digital;
- GPS (Global Positioning System);
- Programas para processamento de imagens de satélite (ENVI 3.4) e
- Folha SB. 24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará (SDN/MI, 1972), de coordenadas 4°30' S / 39° 00 W e 5° 00 S / 38° 30' W.

3.3.2 - Trabalhos preliminares

Nesta etapa foi realizado o levantamento dos dados existentes da região, entre eles destacamos a base cartográfica, mapas de geologia, rede de drenagem, rede viária e outros materiais necessários à montagem de um banco de dados que possibilitasse o início dos trabalhos. Essa etapa foi muito útil na identificação de alguns pontos para viabilizar a primeira visita a campo.

Na primeira viagem a área, fez-se um diagnóstico preliminar das atuais condições dos recursos hídricos da região, dando especial atenção as condições de exploração das zonas aluviais dos grandes rios.

Observou-se que há uma exploração intensa das planícies aluviais para o plantio de culturas irrigadas e de sequeiro. A faixa de mata ciliar é muito reduzida nos grandes rios. Nos de menor porte (riachos) há uma preservação maior da vegetação nativa. Os rios Choró e Sitiá (Fotos 3.01a e b, respectivamente) apresentam calhas largas e planícies aluviais mais definidas pelas rochas aflorantes. Já o rio Pirangi (Foto 3.01c) mostra-se com uma calha principal menor, mas com uma planície aluvionar larga na sua porção mais ao Leste.

Foram coletadas coordenadas dos pontos através de GPS (*Global Positioning System*) que posteriormente foram usadas para definição das áreas de treinamento

para aplicação dos métodos de classificação supervisionada.

Após esta visita a campo foi possível produzir um mapa preliminar de aluviões com base nas informações de campo (registro fotográfico, coleta de coordenadas de pontos com o uso do GPS para posterior localização de aluviões na imagem de satélite e análise visual de regiões que possuem características de aluvião).



(a)

(b)

(c)

FOTO 3.01 – Aluviões dos rios Choró (a), Sitiá (b) e Pirangi (c).

3.3.3 - Classificação dos aluviões por fotointerpretação subjetiva

Esta etapa foi realizada somente como uma primeira aproximação da localização dos corpos aluvionares. Trabalhou-se somente com as imagens LANDSAT 7 ETM+ cenas 216-63 e 217-63, de outubro de 2002.

As imagens foram, primeiramente, mosaicadas (por pixel) e recortadas nas dimensões da área do projeto. A composição empregada foi:

- R: Banda 4
- G: Banda 3
- B: Banda 1

O objetivo dessa combinação é a de dar destaque as zonas de vegetação junto as drenagens (cor vermelha). O produto sofreu um realce de 2%. A delimitação vetorial dos aluviões foi feita de forma subjetiva, valendo-se dos critérios do fotointerprete. O mosaico com o resultado da fotointerpretação pode ser visto na Figura 3.18.

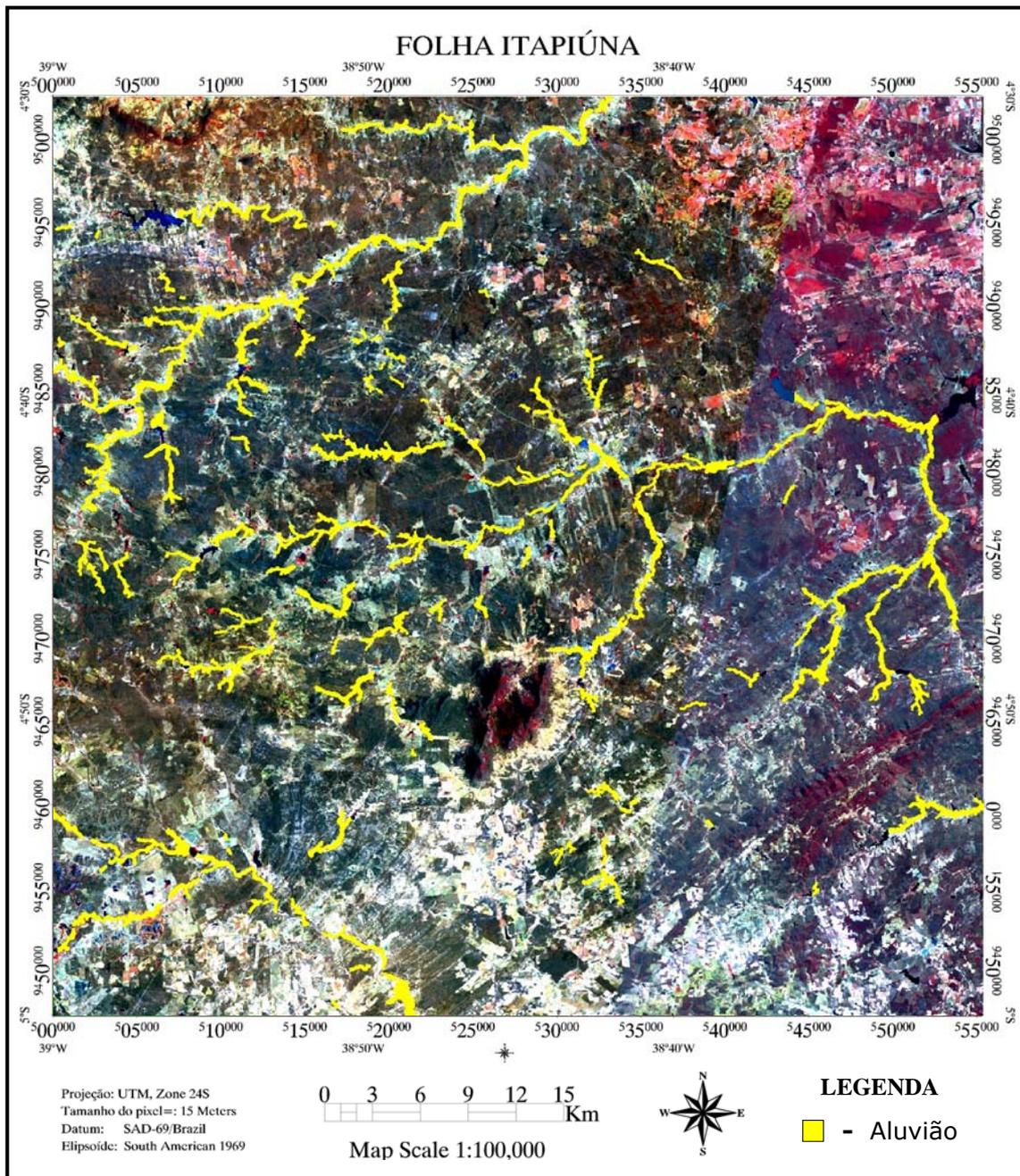


FIGURA 3.18 – Mapa dos aluviões sobreposto a imagem LANDSAT 7
Interpretação subjetiva (p/interpretação visual).

3.3.4 - Classificação dos aluviões – processo automático a partir de imagens com pixels em níveis de cinza (DN)

O objetivo dessa classificação é identificar, através de classificação não supervisionada e supervisionada, as manchas de aluvião a partir de imagens com resposta espectral em DN (Digital Number), não sendo usado nenhum pré-processamento que pudesse afetar o valor da resposta espectral dos *pixels*. A

classificação não supervisionada foi usada apenas para auxiliar na identificação das classes a serem usadas no processo de classificação supervisionada. O número de classes estimado inicialmente sempre esteve entre cinco e dez.

Para desenvolver o processo de classificação supervisionada, usou-se as coordenadas dos pontos coletados por GPS de alguns aluviões (viagem de reconhecimento). Esses pontos foram localizados na imagem e em seguida foram delimitadas áreas em torno desses pontos, que apresentavam respostas espectrais semelhantes, para representar a classe aluvião. Essas áreas foram usadas como parâmetros de entrada no processo de classificação. Tais áreas recebem o nome de áreas de treinamentos ou regiões de interesse, também denominadas ROI (Region Of Interest). Foram selecionados outros alvos representativos na área, tais como água, vegetação rala, vegetação densa, afloramento rochoso e solo exposto. O mesmo procedimento realizado para a definição do alvo "aluviões" foi repetido para estas outras classes, só que os ROI's, neste caso, foram obtidos exclusivamente através de análise visual na imagem e na classificação não supervisionada.

Estes conjuntos de respostas de DN's, organizados por classes, formaram uma biblioteca de regiões de interesse (ROI's) e foram posteriormente usadas nos métodos de classificação supervisionada. A classificação foi realizada com o *software* ENVI usando seus classificadores supervisionados: Paralelepípedo, Distância Mínima, Distância Mahalanobis, Máxima Verossimilhança e *Spectral Angle Mapper*. Os métodos foram comparados entre si visando a escolha daquele que melhor se ajusta aos dados fornecidos ao sistema de processamento de imagens.

Para esta classificação foram usadas imagens ASTER e LANDSAT 7, porém os resultados não foram muito satisfatórios para as imagens LANDSAT 7, pois essas imagens tinham uma cobertura de nuvens significativa, o que atrapalhou muito a classificação e, portanto, os seus produtos de classificação não serão apresentados.

Basicamente o processo de classificação supervisionado com a coleta de amostras na imagem para representar as classes, segue os seguintes passos:

- A identificação dos diversos tipos de alvos (classes) presentes na imagem;
- Seleção de amostras representativas de cada classe de alvos a partir de mapas temáticos existentes, levantamento de campo, análise visual na imagem, entre outros recursos;
- Geração de uma imagem classificada usando um classificador supervisionado;

- Refinamento da classificação por um processo de agrupamento dos diversos *pixels* que estão soltos na classificação, sendo esse tipo de processo denominado de pós-classificação;
- Avaliação dos resultados da classificação com base em Matriz de Confusão e Índice Kappa.

Nesta classificação estão presentes várias classes de uso e ocupação do solo: água, vegetação rala, vegetação densa, solo exposto e aluvião. Isso pode ser identificado na Figura 3.19 que representa uma classificação obtida com um desses processos (MAXVER).

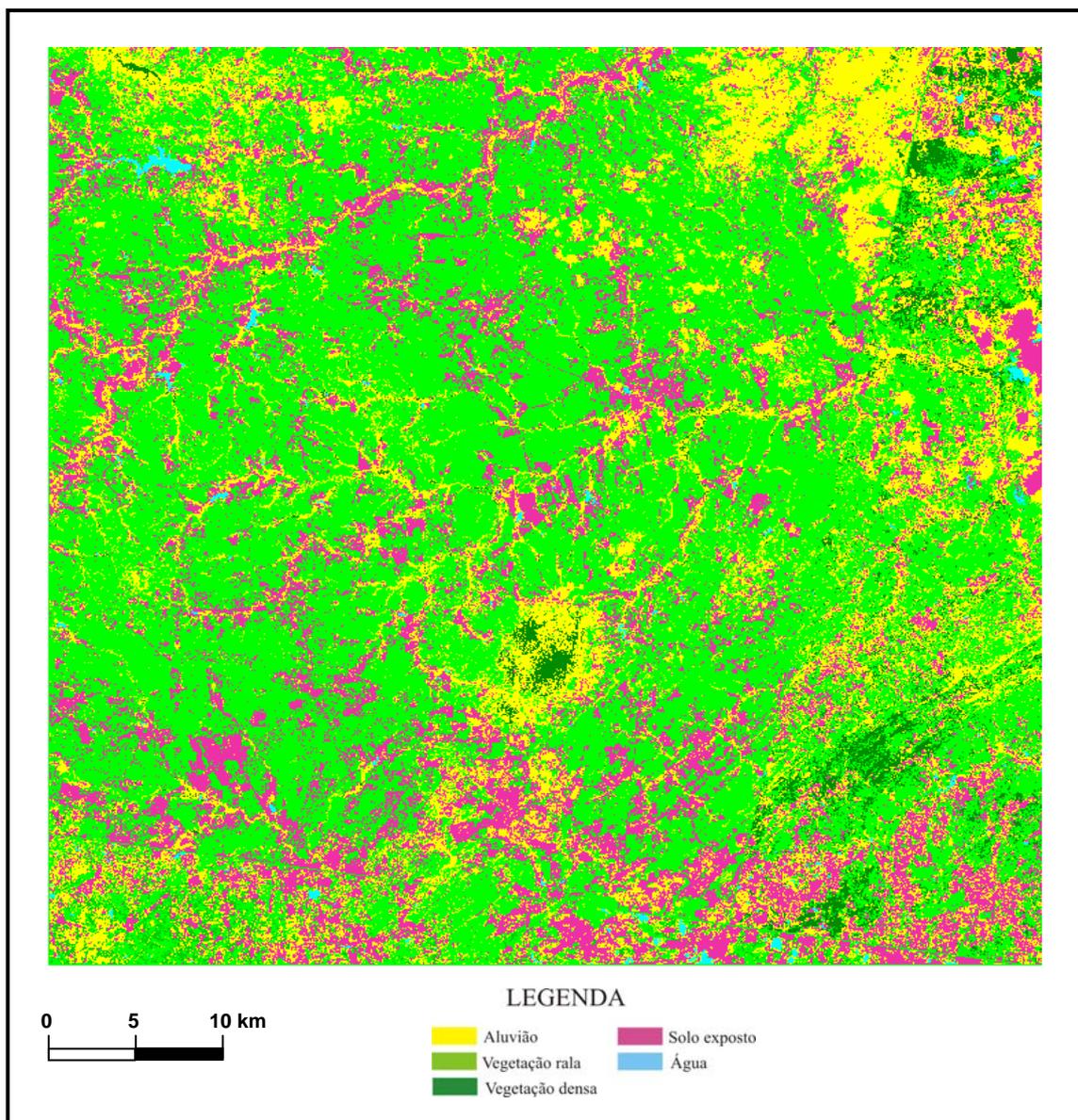


FIGURA 3.19 – Classificação usando o método MAXVER.

Um mosaico das imagens ASTER somente com a classe aluvião pode ser visto na Figura 3.20. Neste caso foi aplicado na classificação um procedimento de pós-classificação denominado "clump" (agrupamento). Após o procedimento de pós-classificação, ainda assim ficou uma quantidade muito grande de *pixels* isolados. Para solucionar este problema foi vetorizada a classe aluvião e exportado em forma de vetor e em seguida, usando programa apropriado, foi realizada uma limpeza das áreas classificada erradas. Com isso a imagem tornou-se mais coerente e com uma melhor definição das áreas de aluvião.

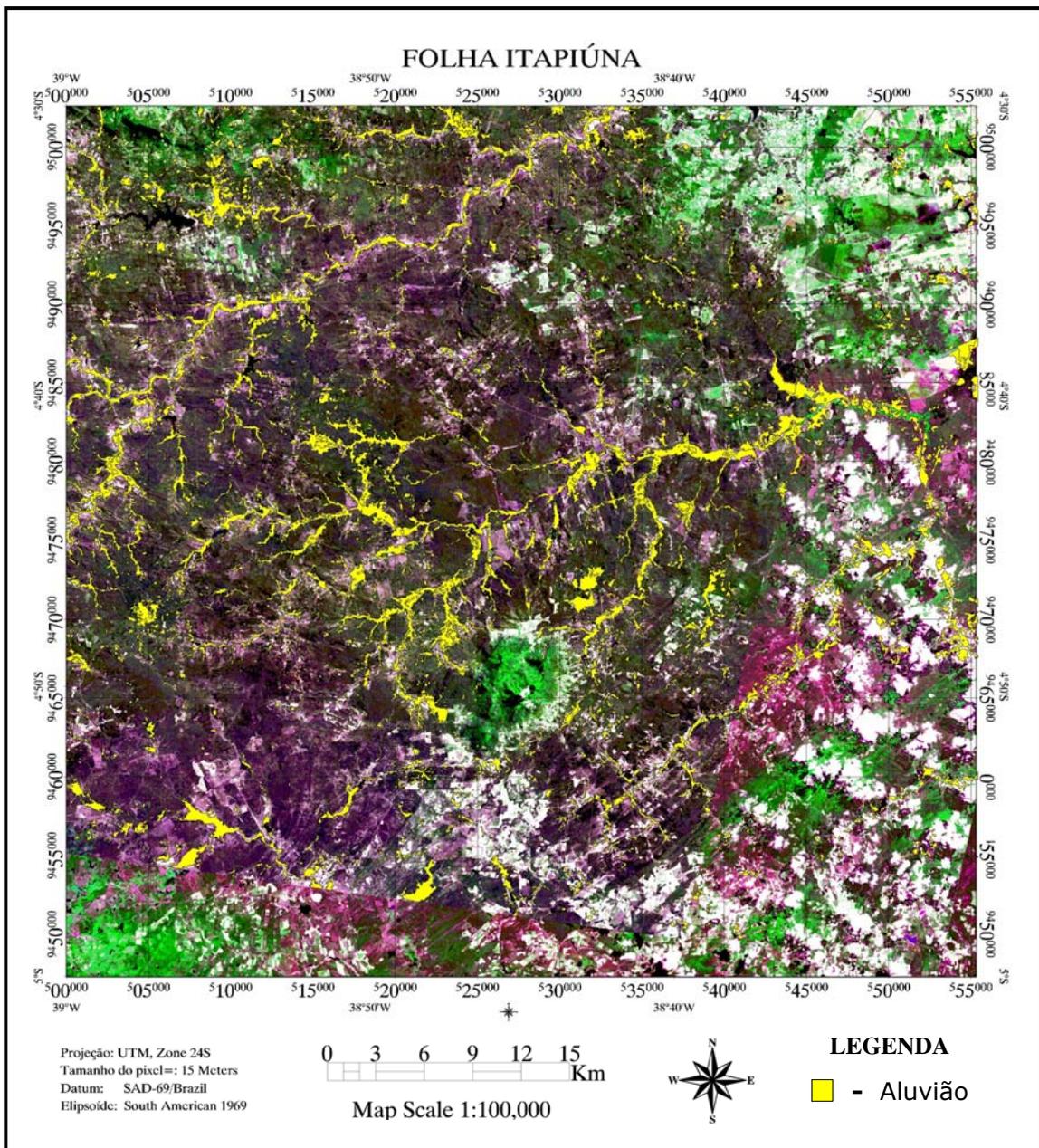


FIGURA 3.20 – Mapa dos Aluviões Sobreposto a imagem ASTER.

O método de classificação supervisionado do paralelepípedo foi o único que se mostrou inviável para a imagem ASTER 1326, pois os resultados obtidos na aplicação desse método não permitiram obter uma classificação satisfatória. Os demais métodos usados proporcionaram uma classificação satisfatória. Essa conclusão foi tirada a partir da aplicação da Matriz de Confusão, Índice Kappa e o Índice de Acurácia Global.

Segue logo abaixo as Tabelas com os resultados da matriz confusão, Índice Kappa e Acurácia Global referentes às imagens ASTER (0033, 0034 e 1326). Para a imagem 0033 o único método que se mostrou mais eficiente no processo de classificação foi o MAXVER, já para imagem 0034 os dois que se mostraram melhores foram MAXVER e Distância Mahalanobis. E por último, para a imagem 1326 foram os métodos MAXVER, Distância mínima e *Spectral Angle mapper* (SAM). Vários outros métodos foram usados, mas os resultados foram inferiores aos métodos citados acima. Observou-se tanto pelo critério da Acurácia Global como pelo Índice Kappa, o método MAXVER mostrou-se melhor para todas as imagens classificadas. Esse fato pode ser explicado pelo grande número de *pixel* usado nas áreas de treinamento, e o fato do classificador MAXVER levar em consideração no seu modelo, o cálculo da matriz de covariância.

Os resultados da avaliação das classificações estão nas Tabelas 3.8 a 3.13 com os respectivos Índices que possibilitaram a comparação entre os métodos e a escolha do método mais eficiente para a classificação. Um resumo pode também ser verificado na Tabela 3.08.

TABELA 3.8 – Resultados da classificação - imagem ASTER 0033

Classificador: **MAXVER.**

Resumo da Matriz de Confusão			
Classe	Erro de Inclusão (%)	Erro de Omissão (%)	Pixel Bem Classificado
Aluvião	84,96	39,34	60,66
Água	3,14	3,32	96,68
Vegetação Rala	15,93	20,56	79,44
Vegetação Densa	27,98	25,75	74,25
Solo Exposto	1,90	15,80	84,20
Acurácia Global:		81,64%	
Acurácia Aluvião:		60,66%	
Índice Kappa:		0,75%	

TABELA 3.9 – Resultados da classificação – imagem ASTER 0034

Classificador: **MAXVER**

Resumo da Matriz de Confusão:			
Classe	Erro de Inclusão (%)	Erro de Omissão (%)	Pixel Bem Classificado
Aluvião	53,97	66,34	33,66
Água	1,87	1,57	98,43
Vegetação Rala	38,61	27,82	72,18
Vegetação Densa	39,58	39,30	60,70
Solo Exposto	6,71	3,83	96,17
Acurácia Global:		75,58%	
Acurácia Aluvião:		33,66%	
Índice Kappa:		0,69%	

TABELA 3.10 – Resultados da classificação – imagem ASTER 0034

Classificador: **Distância Mahalanobis**

Resumo da Matriz de Confusão:			
Classe	Erro de Inclusão (%)	Erro de Omissão (%)	Pixel Bem Classificado
Aluvião	55,14	72,15	27,85
Água	5,57	0,13	99,87
Vegetação Rala	46,71	51,67	48,33
Vegetação Densa	48,15	28,56	71,44
Solo Exposto	1,20	72,15	93,56
Acurácia Global:		72,07%	
Acurácia Aluvião:		27,85%	
Índice Kappa:		0,65%	

TABELA 3.11 – Resultados da classificação – imagem ASTER 1326

Classificador: **MAXVER**.

Resumo da Matriz de Confusão:			
Classe	Erro de Inclusão (%)	Erro de Omissão (%)	Pixel Bem Classificado
Aluvião	60,45	35,86	64,14
Água	0,00	0,19	99,81
Vegetação Rala	10,59	5,42	87,86
Vegetação Densa	18,13	37,66	62,34
Solo Exposto	0,74	5,42	94,58
Acurácia Global:		87,57%	
Acurácia Aluvião:		64,14%	
Índice Kappa:		0,84%	

TABELA 3.12 – Resultados da classificação – imagem ASTER 1326

Classificador: **SAM**

Resumo da Matriz de Confusão:			
Classe	Erro de Inclusão (%)	Erro de Omissão (%)	Pixel Bem Classificado
Aluvião	78,89	39,98	60,02
Água	0,00	1,52	98,48
Vegetação Rala	21,94	13,45	86,55
Vegetação Densa	25,06	60,13	39,87
Solo Exposto	0,03	13,45	86,55
Acurácia Global:		73,63%	
Acurácia Aluvião:		60,02%	
Índice Kappa:		0,67%	

TABELA 3.13 – Resultados da classificação – imagem ASTER 1326

Classificador: **Distância Mínima**

Resumo da Matriz de Confusão:			
Classe	Erro de Inclusão (%)	Erro de Omissão (%)	Pixel Bem Classificado
Aluvião	56,94	45,97	54,03
Água	0,00	0,32	99,68
Vegetação Rala	16,68	7,75	92,25
Vegetação Densa	22,10	34,07	65,93
Solo Exposto	1,35	14,78	85,22
Acurácia Global:		85,74%	
Acurácia Aluvião:		54,03%	
Índice Kappa:		0,81%	

TABELA 3.14 – Resumo dos resultados da classificação.

Imagens/Classificador	Acurácia Global	Kappa	Acurácia Aluvião
0033 - MAXVER	81,64%	0,75	60,66%
0034 - MAXVER	75,50%	0,69	33,66%
0034 - DIST. MAHALANOBIS	72,07%	0,65	27,85%
1326 - MAXVER	87,57%	0,84	64,14%
1326 - SAM	73,62%	0,67	60,02%
1326 - DIST. MÍNIMA	85,74%	0,81	54,03%

Entre os métodos usados e comparados entre si, constatou-se que o método que obteve uma melhor classificação a partir da análise dos resultados da Acurácia Global e Índice Kappa foi o MAXVER. O uso deste resultou em uma melhor definição da delimitação da classe aluvião e uma menor “confusão” entre as classes. Porém em todos os métodos, inclusive no MAXVER, existe uma “confusão” muito grande entre os *pixels* em algumas áreas da imagem, como pode ser observada na Figura 3.20 que representa a classificação referente à folha de Itapiúna a partir de imagens ASTER. Isto pode ser justificado pelo fato de alvos em diferentes locais

terem características espectrais muito próximas. Como exemplo, pode-se citar a classe aluvião, na qual pode ocorrer uma confusão entre *pixels* que realmente pertence a essa classe com outros *pixels* de outras classes. Adicionalmente, muitas vezes a vegetação que está cobrindo o aluvião está presente em outras áreas que não representam áreas de aluvião, sendo que estas áreas são classificadas como aluvião dificultando, assim, uma boa delimitação em muitas situações da classe aluvião.

3.4 - Espectrometria de Campo (Coleta de Assinaturas Espectrais)

Os resultados obtidos a partir da primeira etapa de classificação dos aluviões, para alguns classificadores, foram satisfatórios, tendo como critérios a inspeção visual e Índice Kappa, e considerando-se que nesta etapa as informações disponíveis para processar uma classificação eram limitadas. Por esta razão foi necessária a coleta de mais informações em campo para auxiliar na parametrização dos algoritmos de classificação. Assim foi realizado o levantamento de assinaturas espectrais de alvos em campo, a partir do uso de um espectrorradiômetro.

3.4.1 - Material usado

Nesta fase do trabalho foram usados na visita a campo:

- mapa referente à primeira classificação das imagens ASTER sobreposto à Folha SB 24-X-A-IV-Itapiúna – Ceará (SDN/MI, 1972);
- GPS (Global Positioning System);
- programas para processamento de imagens de satélite;
- espectrorradiômetro ASD (*FieldSpec Pro*);
- máquina fotográfica digital;
- um computador tipo laptop e
- Imagens ASTER.

Para a coleta de mais dados em campo foi utilizado um espectrorradiômetro para registrar as assinaturas espectrais dos alvos de interesse (Aluvião) e montar uma biblioteca espectral que será usada como parâmetro de entrada no classificador.

3.4.2 - Procedimento e resultados da coleta das assinaturas espectrais.

Com base no mapa produzido na primeira etapa de classificação e informações

existentes de vários pontos da folha, foi possível escolher os locais de visita para fazer medições representativas da assinatura espectral dos alvos da área em estudo, os quais darão suporte a fase do processamento de imagens.

Para a coleta de dados de radiança foi utilizado o aparelho *FieldSpec Pro* da ASD (Analytical Spectral Devices Inc.). Constitui-se em um espectrorradiômetro de campo portátil, com aproximadamente 8 Kg, FOV de 1 a 25°, resolução espectral de 10 nm, range de 350 a 1050 nm e capacidade de coletar até 10 espectros por segundo. A unidade detectora está ligada ao instrumento por um cabo de fibra óptica de 1,4 metros de comprimento. Realiza medições de reflectância solar, radiância e irradiância. Compõe também o instrumento um computador notebook LCD, baterias, interface Espectrorradiômetro-Computador (porta paralela bidirecional), o software RS2 de interface com o usuário, software para aquisição e armazenamento de dados.

A coleta de dados seguiu um padrão bem definido. Uma vez selecionado a seção de drenagem, fazia-se, inicialmente, uma calibragem do sensor com uso de uma placa de referência Spectralon, a qual possui reflectância conhecida. Assim, as leituras de radiância eram automaticamente convertidas para um fator de reflectância (o fator de reflectância de um alvo representa a razão entre a radiância do alvo e a referência padrão lambertiana). A partir daí era feita uma varredura transversal ao rio, de uma borda do aluvião a outra. A resposta espectral dos aluviões foi medida considerando as mudanças nas características dos alvos.

Os alvos considerados foram: aluviões (depósito sedimentar) sem cobertura vegetal, aluvião com cobertura vegetal, (nesta situação separou-se aluviões com cobertura vegetal densa e rala), leito dos rios (areia seca, areia úmida, cascalho e água), grama, vegetação de pequeno e médio porte, afloramento rochoso em algumas situações, e pontos que formavam as bordas do depósito aluvionar, ou seja, um suposto limite entre aluvião e o cristalino. Essa delimitação foi feita através de observações de bio-indicadores, como tipo de vegetação, e textura do solo (solo exposto nas margens dos rios e regiões próximas ao aluvião que caracterizam o cristalino).

A Unidade detectora ("pistola" com a fibra ótica) sempre foi posicionada a 0° em relação à normal da superfície e a uma altura de, aproximadamente, 2.0 m do alvo. Isto fez com que, com um campo de visada (FOV) de 25° de abertura, o sensor cobrisse uma área correspondente a 1.0 m² da superfície de cada alvo amostrado (Foto 3.02). O aparelho estava configurado para registrar a média de dez espectros em cada registro.

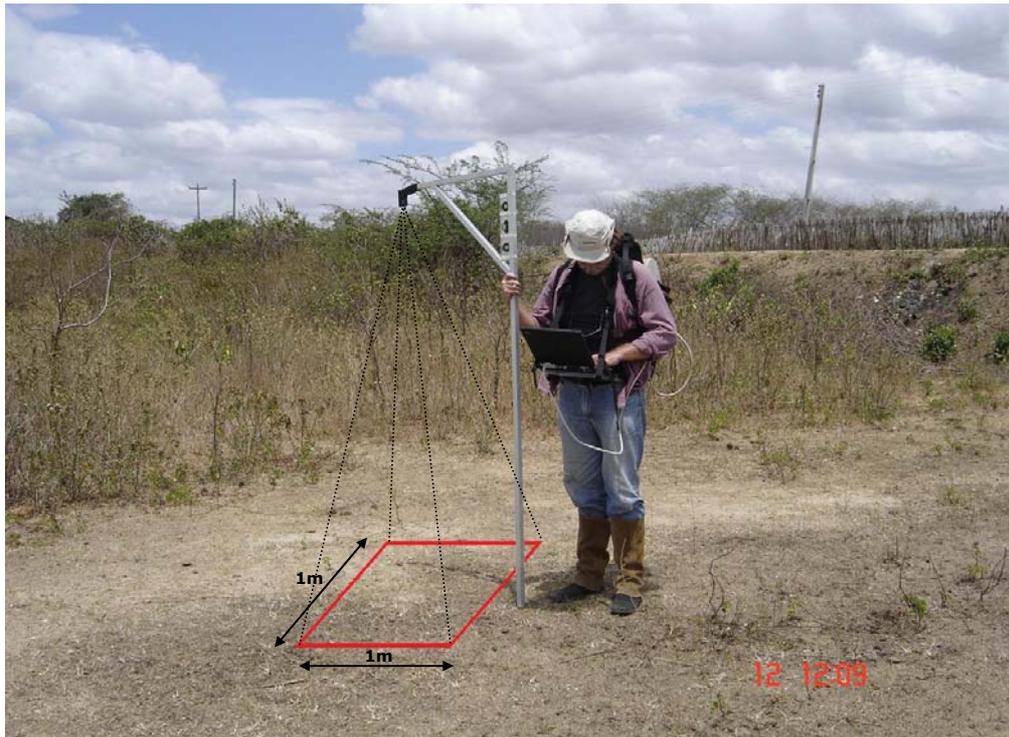


Foto 3.02 – Ilustração da área coberta pelo sensor do espectrorradiômetro.

Em cada local foram realizadas diversas leituras de mesmos alvos. As leituras sempre foram realizadas no período do dia em que a radiação é mais intensa (10h00min às 15h30min) e, necessariamente, sem a presença de nuvens, pois as mesmas afetam sobremaneira na intensidade da resposta espectral dos alvos.

Para cada alvo, após a leitura e armazenamento dos dados coletados em um microcomputador, foi registradas as coordenadas do ponto em um GPS de navegação e feito o registro fotográfico, sempre com duas fotos: uma mostrando o alvo no contexto geral, e outra mostrando detalhes do ponto. Quando necessário foi retirada uma foto panorâmica de todo o aluvião. Os pontos a serem registrados foram selecionados de forma a obter uma melhor representação das características do aluvião como um todo.

Visando estudar a influência da umidade no comportamento espectral das reflectâncias dos alvos, foram realizadas duas campanhas de campo para a coleta de dados. A primeira ocorreu durante um período seco (nov/dez) e a segunda durante e final do período chuvoso (abril e junho).

A seguir é apresentado algumas considerações para cada um dos alvos amostrados.

3.4.2.1 - Água

As curvas espectrais da água são apresentadas na Figura 3.21 (a & b) . O comportamento das curvas foi clássico, ou seja, caracterizou-se por apresentar baixos valores de reflectância na faixa espectral correspondente ao intervalo da radiação fotossinteticamente ativa e na porção inicial do infra-vermelho próximo.

Observou-se que as águas mais rasas refletiram mais que as mais profundas, dado a interferência do fundo. As águas mais turvas apresentavam comportamento semelhante em relação as mais límpidas.

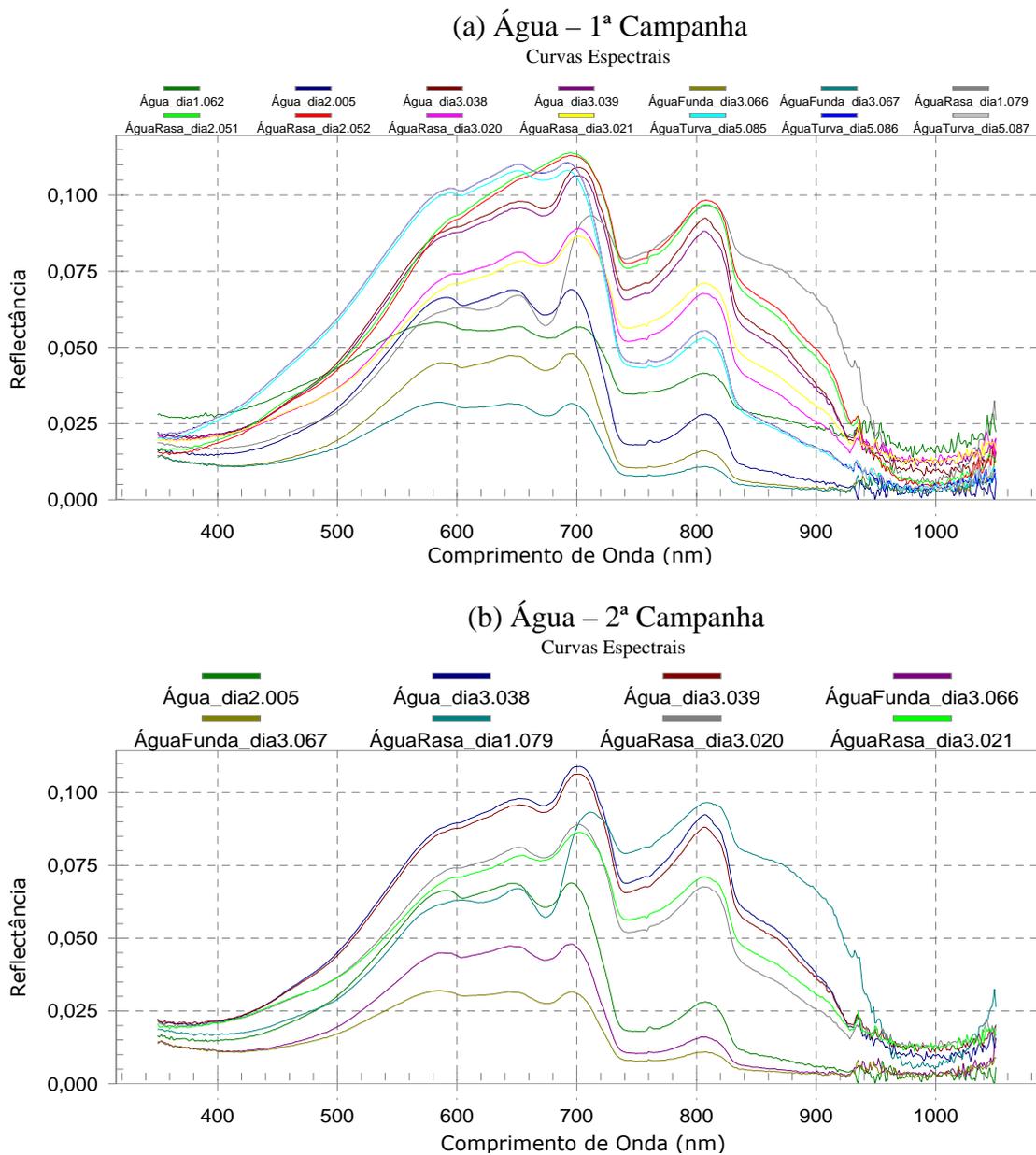


Figura 3.21 – Curva espectral das águas: campanha em período seco (a) e em período úmido (b).

O comportamento espectral de *corpos d'água* é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão neles, pois é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo (500-570 a 570-590 nm), enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direção ao vermelho (620 a 760 nm).

3.4.2.2 - *Bordas (afloramentos rochosos e solos)*

As Figuras 3.22 (a & b) e 3.23 (a & b) apresentam as curvas espectrais de alguns afloramentos rochosos com e sem vegetação, respectivamente, nas duas campanhas.

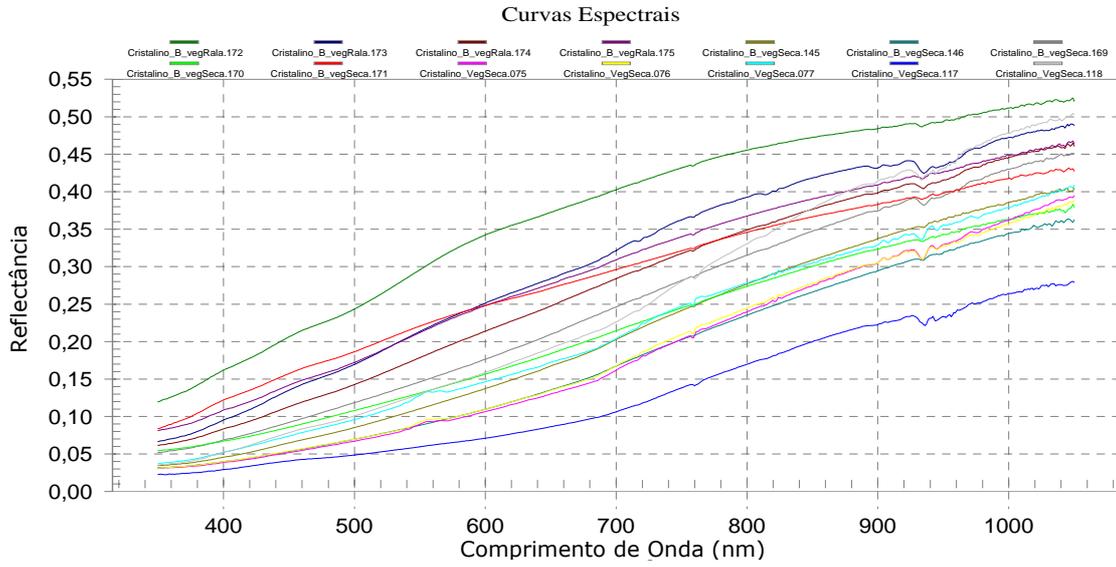
O comportamento espectral das rochas é dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. As combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos é que define o seu comportamento espectral. No intervalo de comprimento de onda captado pelo espectrorradiômetro, somente a faixa de absorção do óxido de ferro (com pico em 959 nm) está presente.

Observa-se nos gráficos que, na época mais úmida, as respostas espectrais dos afloramentos são fortemente mascaradas pela presença de vegetação, mesmo as de pequeno porte (Figura 3.22 b). Quando destituídos de vegetação, a umidade interfere mais na intensidade da reflectância. O padrão da curva sofre uma inflexão a partir do comprimento de onda de 600 nm (laranja/vermelho) e mantém-se constante até o início do infravermelho próximo. Já no período seco há sempre uma tendência crescente na curva de reflectância, podendo atingir valores de reflectância superiores a 40% (0,4) ao final da porção do infravermelho registrado pelo espectrorradiômetro empregado.

Os solos que bordejam os depósitos aluvionares, amostrados nas duas campanhas, mostraram as assinaturas espectrais apresentadas nas Figuras 3.24 (a & b) e 3.25 (a & b).

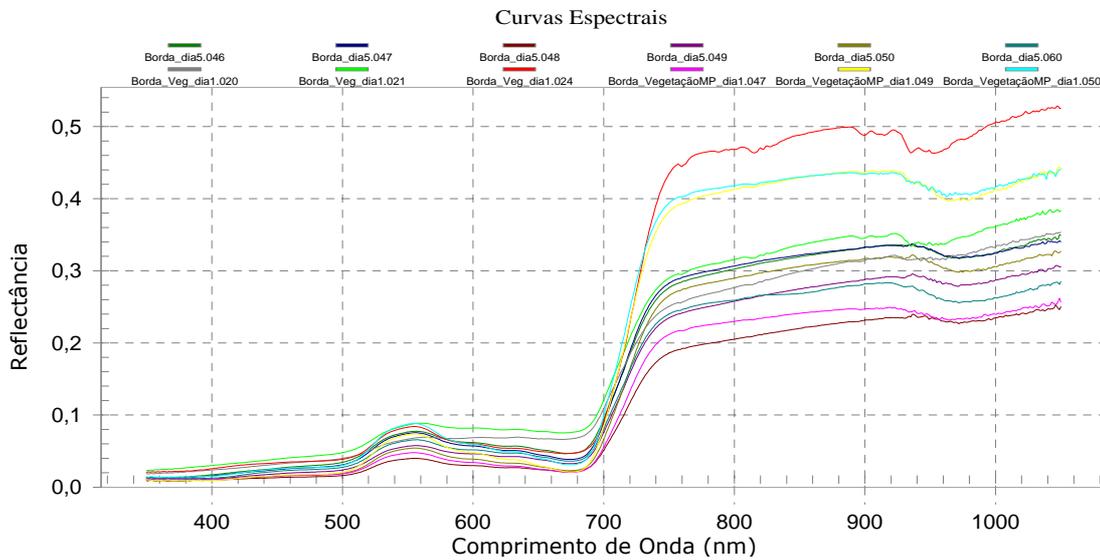
As Fotos 3.03 (a & b) mostram alguns afloramentos rochosos da área, com e sem vegetação. Já as Fotos 3.04 (a e b) mostram detalhes dos solos que bordejam os aluviões.

Afloramento Cristalino com Vegetação Rala (1ª Campanha)



(a)

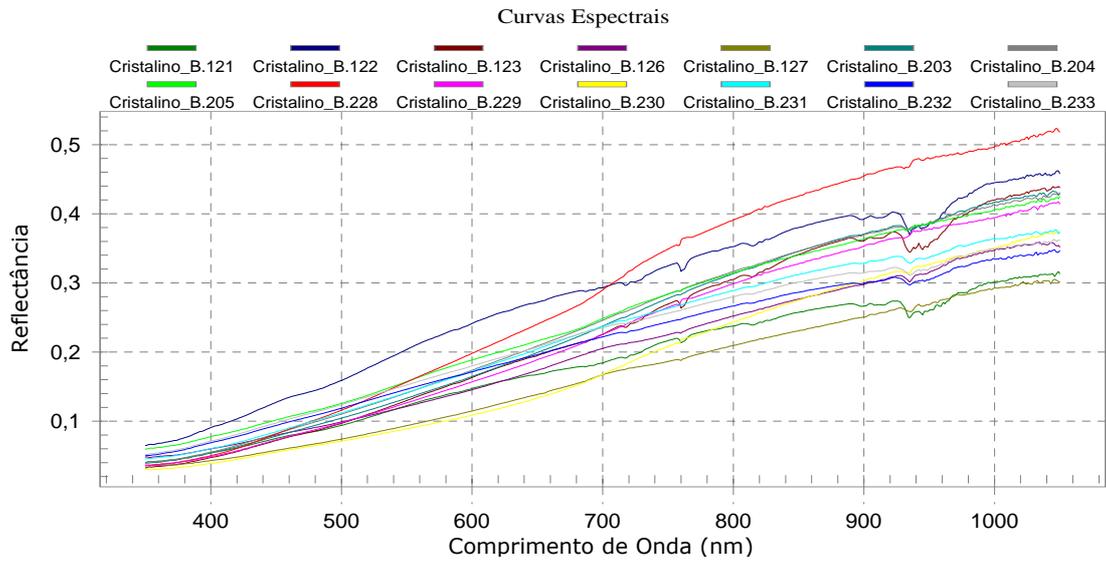
Afloramento Cristalino com Vegetação Rala (2ª Campanha)



(b)

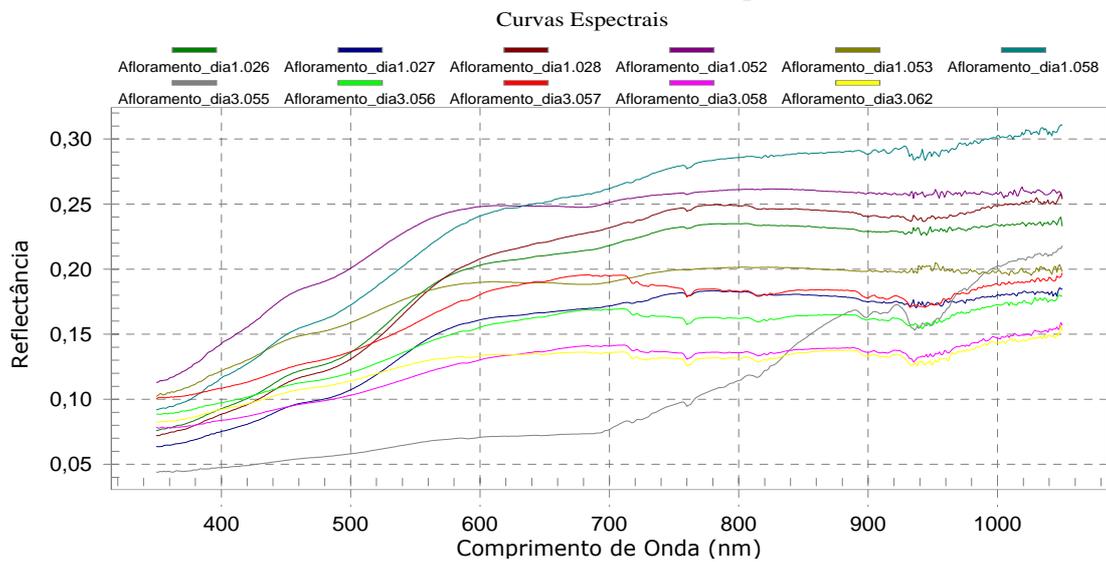
Figura 3.22 - Curvas espectrais de Afloramento Rochoso com vegetação rala, em período seco (a) e em período úmido (b).

Afloramento Cristalino (1ª Campanha)



(a)

Afloramento Cristalino (2ª Campanha)



(b)

Figura 3.23 - Curvas espectrais de Afloramento Rochoso s/vegetação, em período seco (a) e em período úmido (b).

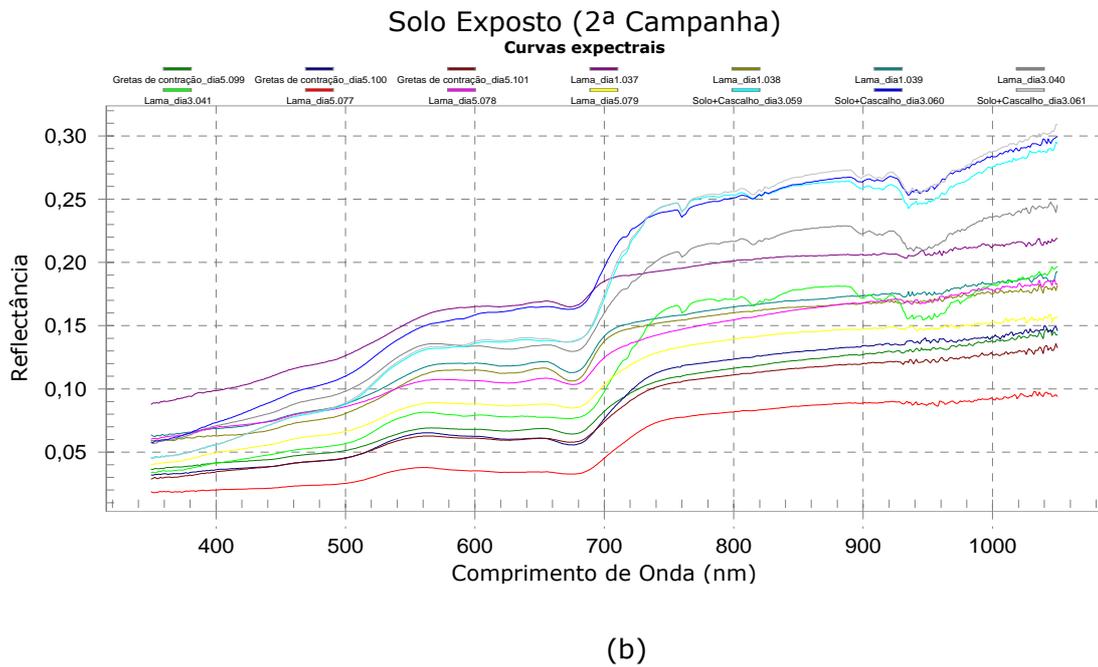
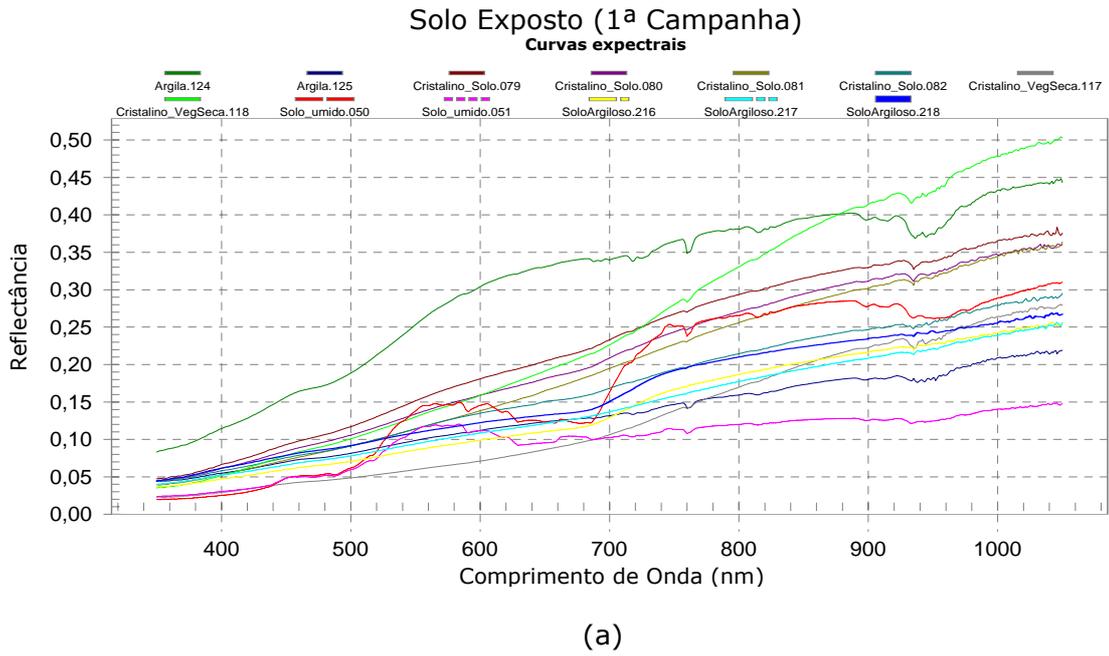


Figura 3.24 - Curvas espectrais de solos expostos (s/vegetação), em período seco (a), e em período úmido (b).

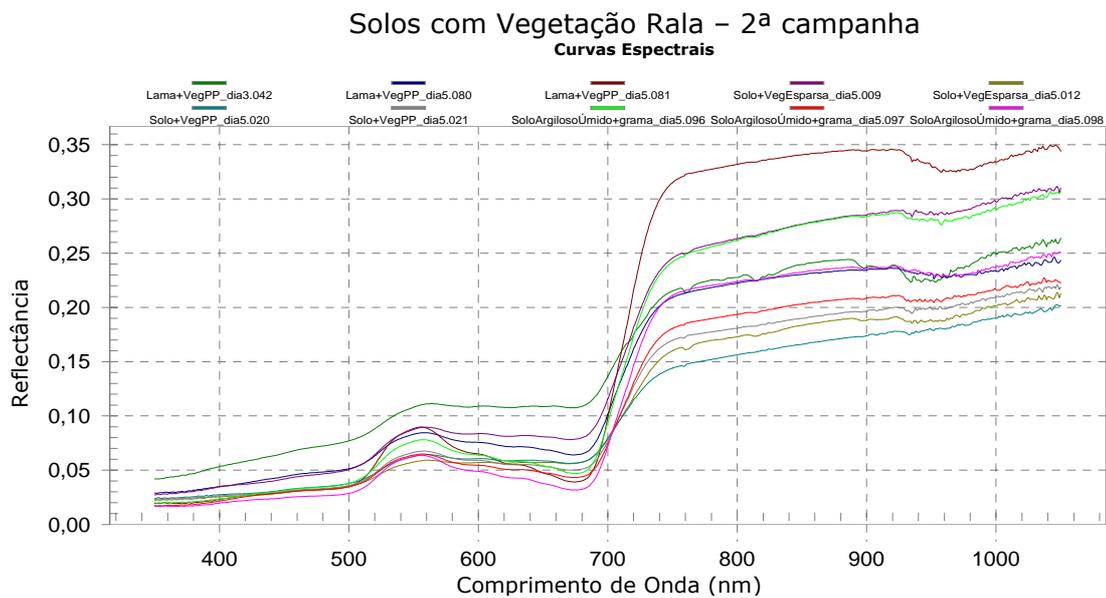
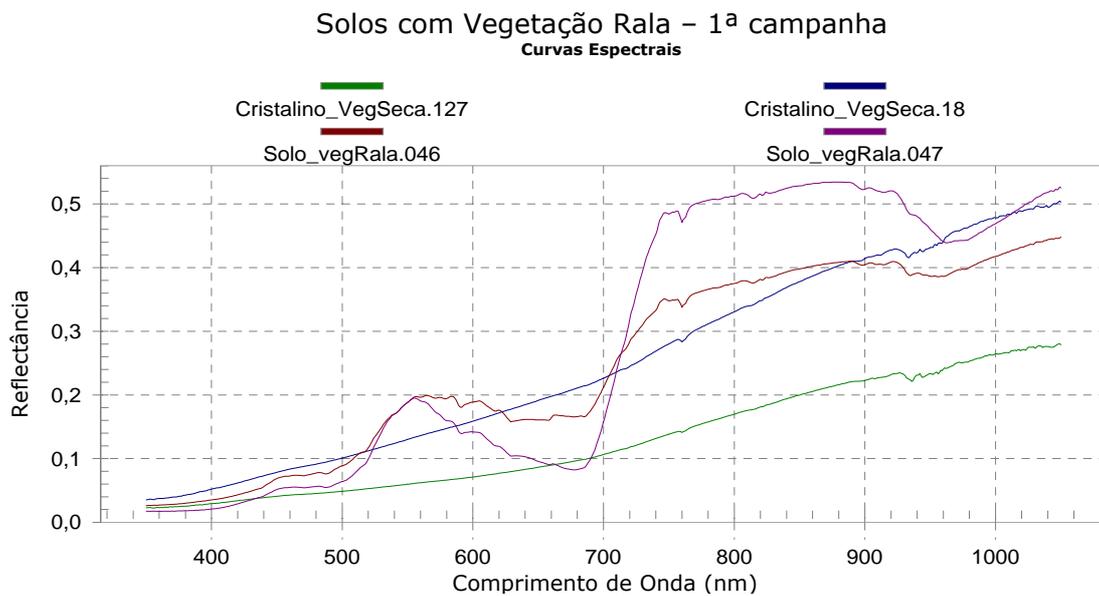


Figura 3.25 - Curvas espectrais de solos com vegetação rala, em período seco (a), e em período úmido (b).



(a)



(b)

Foto 3.03 – Afloramentos rochosos sem vegetação (a) e com vegetação rala (b)



(a)



(b)

Foto 3.04 – Solo exposto (a) e solo com vegetação de pequeno porte (b).

Segundo Formaggio et all. (2001), o comportamento espectral do solo é afetado por diversos fatores dentre os quais destacam-se: a cor do solo, o tipo do solo, o teor de matéria orgânica nele presente, o teor de ferro, a composição mineralógica do solo (presença ou ausência de minerais escuros), o teor de umidade, e a sua textura (distribuição de tamanho das partículas presentes no solo, ou proporção de argila, silte e areia) . via de regra, entretanto, de modo idealizado, podemos dizer que a reflectância do solo aumenta monotonicamente com o comprimento de onda. o teor de umidade do solo afeta sua reflectância em todos os comprimentos de onda. quanto maior o teor de umidade, menor é a reflectância do solo em todos os comprimentos de onda.

As curvas espectrais observadas dos solos expostos (sem cobertura vegetal), quando seco, apresentam padrões semelhantes aos dos afloramentos rochosos limpos. Quando úmidos, tendem a ter o fator de reflectância diminuída, de acordo com o colocado acima. Alguns solos amostrados apresentaram, durante o período úmido, respostas espectrais estáveis (valores de reflectância pouco variou) no intervalo de comprimento de onda acima de 750 nm (Figura 3.39b). Isto pode ser indicativo da presença de altos teores de óxido de ferro e/ou de minerais opacos.

Observa-se, novamente, que a presença de vegetação tende a mascarar a resposta espectral do alvo, neste caso, do solo, principalmente quando esta vegetação está verde (período úmido)

3.4.2.3 - *Vegetação*

O tipo de cobertura vegetal é um dos principais elementos considerado na identificação de aluviões em áreas de domínio de rochas cristalinas, em regiões semi-áridas. Isto se deve ao fato dos solos gerados a partir dessas rochas, nestas condições climáticas, são pouco desenvolvidos e de baixa capacidade de armazenamento d'água. Assim, a vegetação, de uma forma geral, tende a concentrar-se nos aluviões, por encontrarem aí melhores condições de desenvolvimento. Assim, em uma fotointerpretação subjetiva de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas ou imagens de satélite) a densidade da cobertura vegetal é considerada diagnóstica da presença de depósitos aluvionares.

Portanto, foi dada atenção especial ao estudo da cobertura vegetal, no intuito de obter-se elementos que permitam o aperfeiçoamento das técnicas de classificação supervisionadas com uso de bibliotecas espectrais. Não foi possível coletar dados de vegetações de grande porte (árvores), para fazer o estudo da resposta espectral das mesmas, dado a limitação operacional do equipamento.

A seguir é apresentado os resultados obtidos com amostragem de vegetação nativa de médio e pequeno porte. Plantios também foram amostrados, por ser comum o uso dos aluviões como áreas de cultivo. Observou-se também os tipos vegetais que se desenvolviam em áreas alagadas.

i - Vegetação de pequeno porte

A *vegetação sadia* apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Dentro do espectro visível a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3 μ m) é devido a estrutura celular, sendo que a partir deste comprimento de

onda é o conteúdo de água na vegetação quem modula as bandas de absorção presentes no comportamento espectral desse tipo de alvo.

A Figura 3.26 (a e b) apresenta as curvas espectrais de algumas amostras representativas de cobertura vegetal de pequeno porte encontradas nas áreas dos aluviões da região. As Fotos 3.05 (a e b) mostram o que foi considerado por vegetação de pequeno porte.

Pode-se observar que as assinaturas espectrais das vegetações amostradas são bem características desse tipo de alvo. No período úmido (Figura 3.26-b), quando as folhas estão mais verdes, ocorre uma maior absortância (menor reflectância) na banda visível (450 a 760 nm) em função dos pigmentos da folha (clorofila, xantofila e carotenos). Já a diminuição da reflectância na região do infravermelho (> 760 nm), região da interação da radiação com os aspectos fisiológicos da folha, se deve ao aumento do conteúdo de água na estrutura celular superficial das folhas.

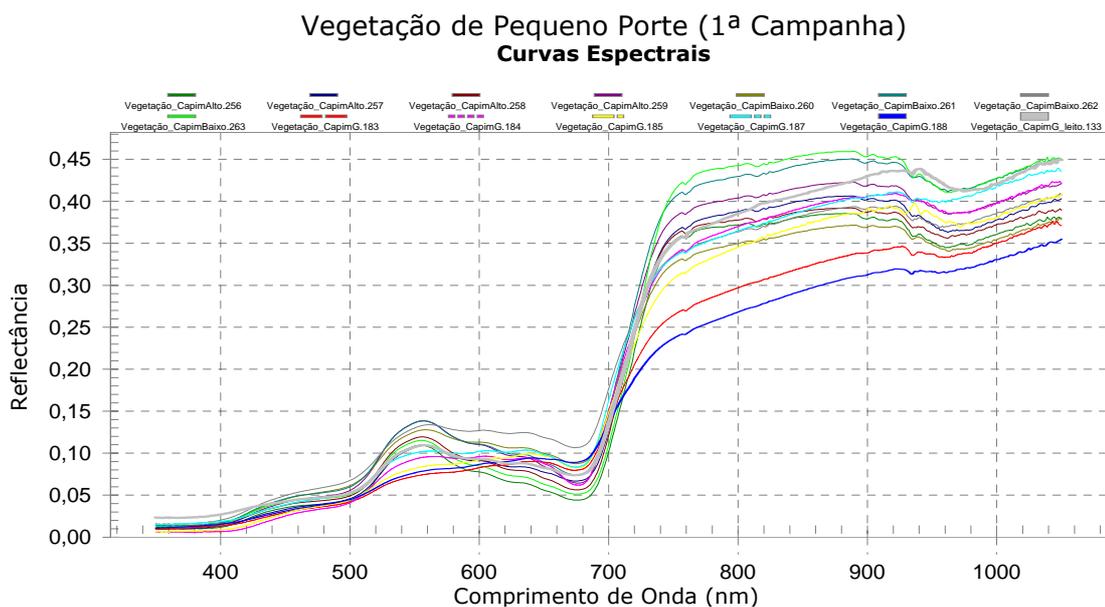


Figura 3.26 (a) - Curvas espectrais de vegetação de pequeno porte, em período seco .

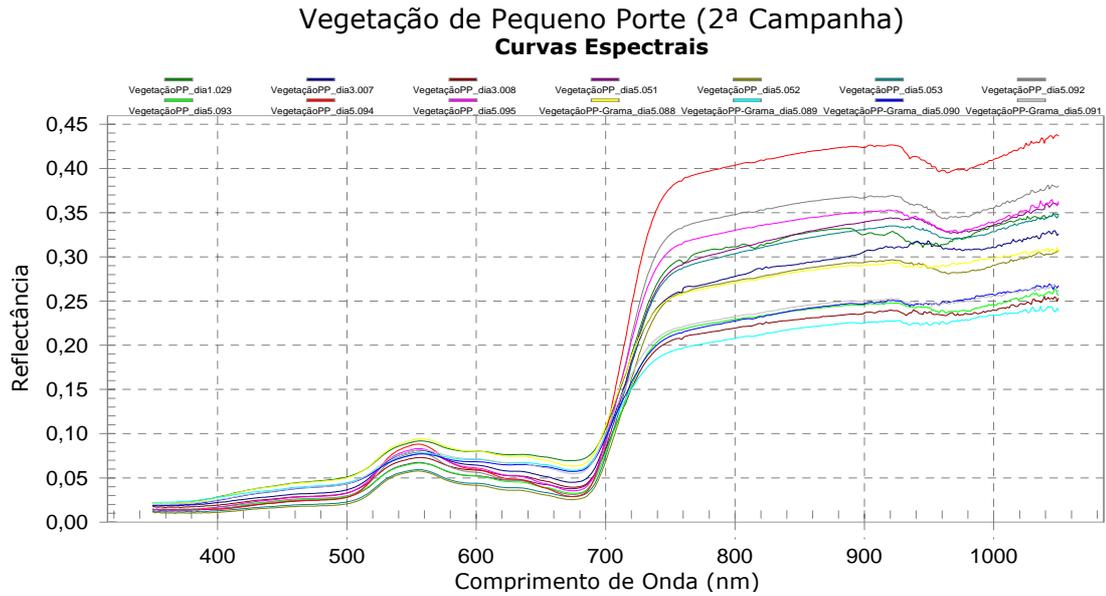


Figura 3.26 (b) - Curvas espectrais de vegetação de pequeno porte, em período úmido.



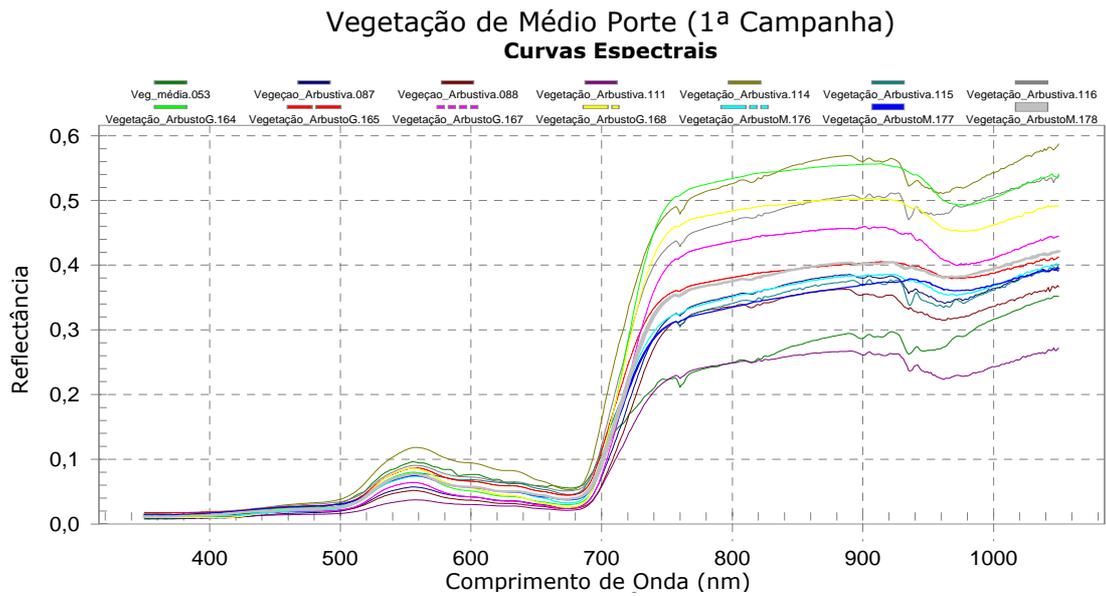
(a)

(b)

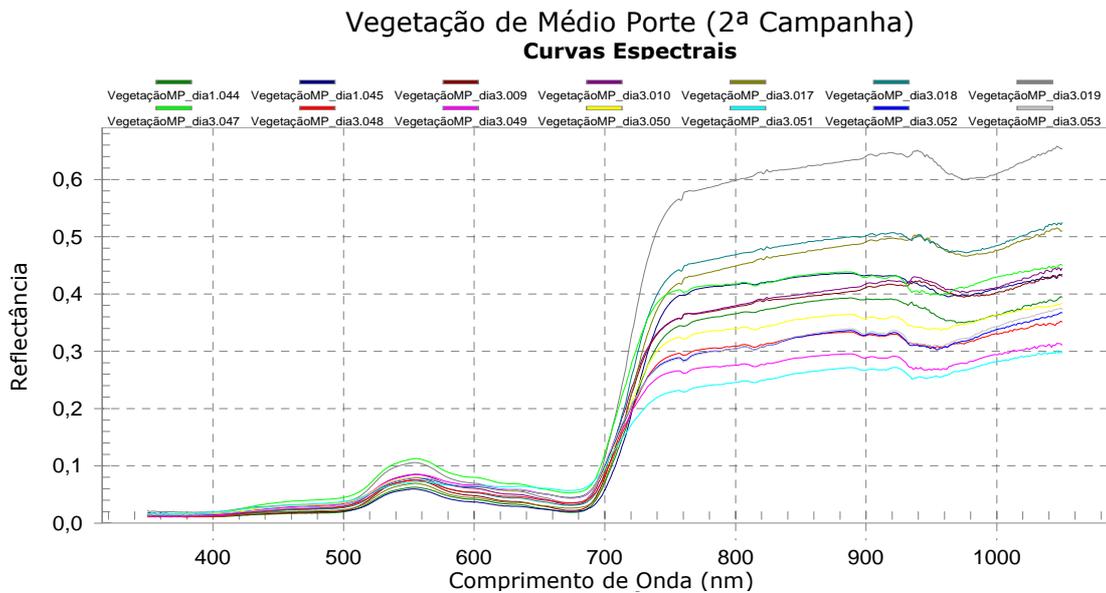
Foto 3.05 – Vegetação de pequeno porte em período seco (a) e em período úmido (b).

ii - **Vegetação de porte médio**

As curvas espectrais para vegetações de médio porte, nos períodos seco e úmido, são apresentados na Figura 3.27 (a e b), e na Foto 3.06 (a e b) é ilustrado este tipo de alvo.



(a)



(b)

Figura 3.27 - Curvas espectrais de vegetação de porte médio em período seco (a) e em período úmido (b).

A semelhança das curvas das vegetações de pequeno porte, as assinaturas apresentaram o padrão esperado para este tipo de alvo. Não foi observado diferenças significativas nas respostas espectrais das vegetações de porte médio entre o período seco e o período úmido.



(a)

(b)

Foto 3.06 – Vegetação de porte médio em período seco (a) e em período úmido (b).

iii - *Vegetação no leito dos rios*

A Figura 3.28 (a e b) e a Foto 3.07 (a e b) mostram as curvas espectrais e foto de vegetações em meio aquático. Não foi observado nenhuma característica de destaque neste tipo de alvo. Um fato que deve ser destacado é que, pelo fato desse tipo de vegetação não apresentar deficiência na disponibilidade d'água, não há variação significativas, em termos de suas respostas espectrais, entre períodos secos e úmidos.

Vegetação na Calha do Rio – 1ª Campanha Curvas Espectrais

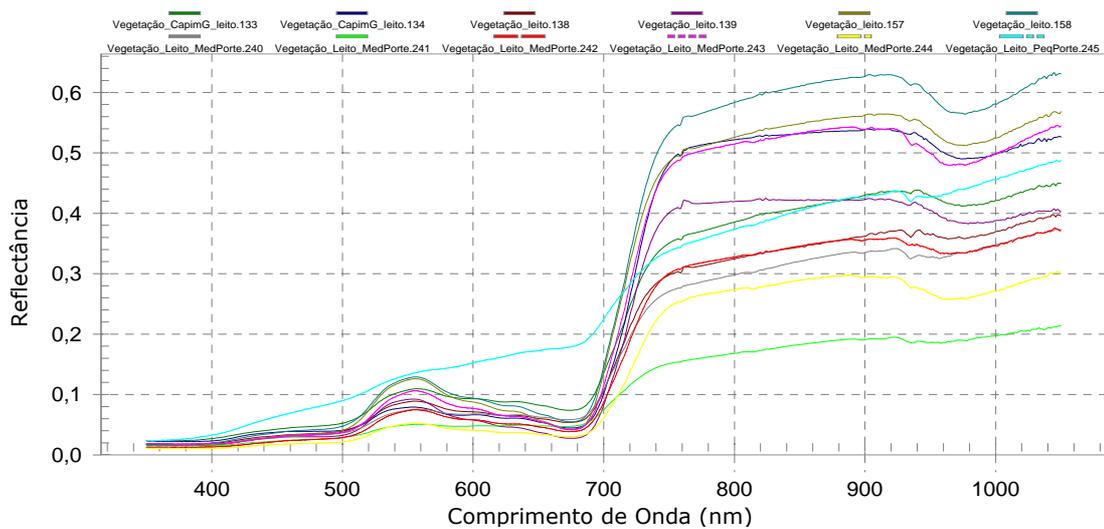


Figura 3.28 (a) - Curvas espectrais de vegetação desenvolvidas em ambiente aquático, em período seco

Vegetação na Calha do Rio – 2ª Campanha Curvas Espectrais

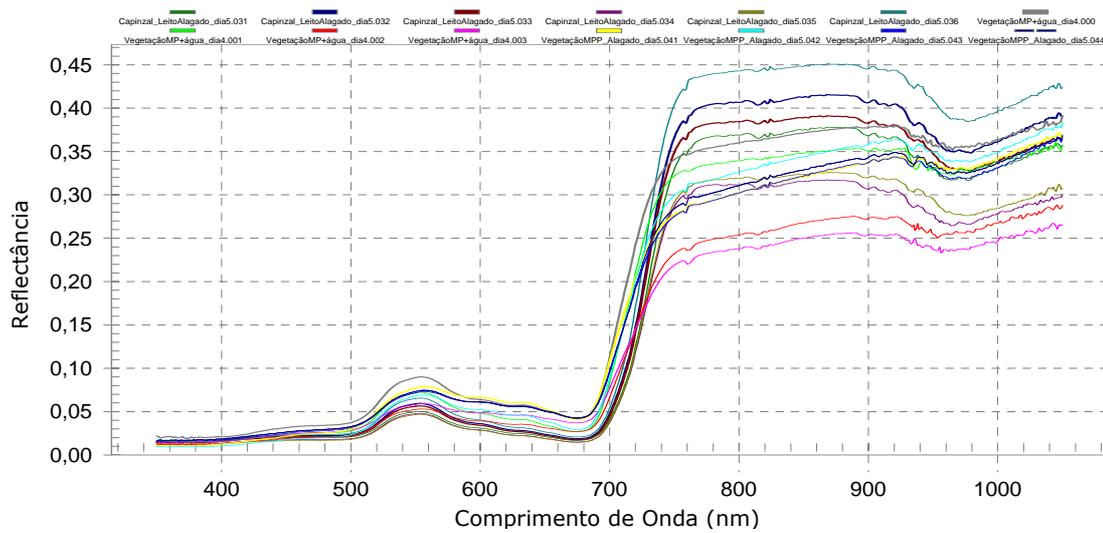


Figura 3.28 (b) - Curvas espectrais de vegetação desenvolvidas em ambiente aquático, em período úmido (b).



(a)

(b)

Foto 3.07 – Vegetação em leito de rio, em período seco (a) e em período úmido (b).

iv - **Áreas de cultivo**

Na região do projeto, assim como na maior parte do sertão nordestino, as áreas de aluvião são consideradas “nobres” para o desenvolvimento de culturas, seja irrigada ou de sequeira. Observou-se o desenvolvimento de plantios de milho e capim (p/forrageira), predominantemente, e de cana-de-açúcar e feijão,

secundariamente. Por vezes via-se pequenas hortas, mas de dimensões pouco significativas para influenciar na resposta espectral de um pixel.

As curvas espectrais das áreas de plantios amostradas podem ser vistas na Figura 3.29 (a e b). A Foto 3.08 (a e b) ilustra alguns tipos de culturas visitadas.

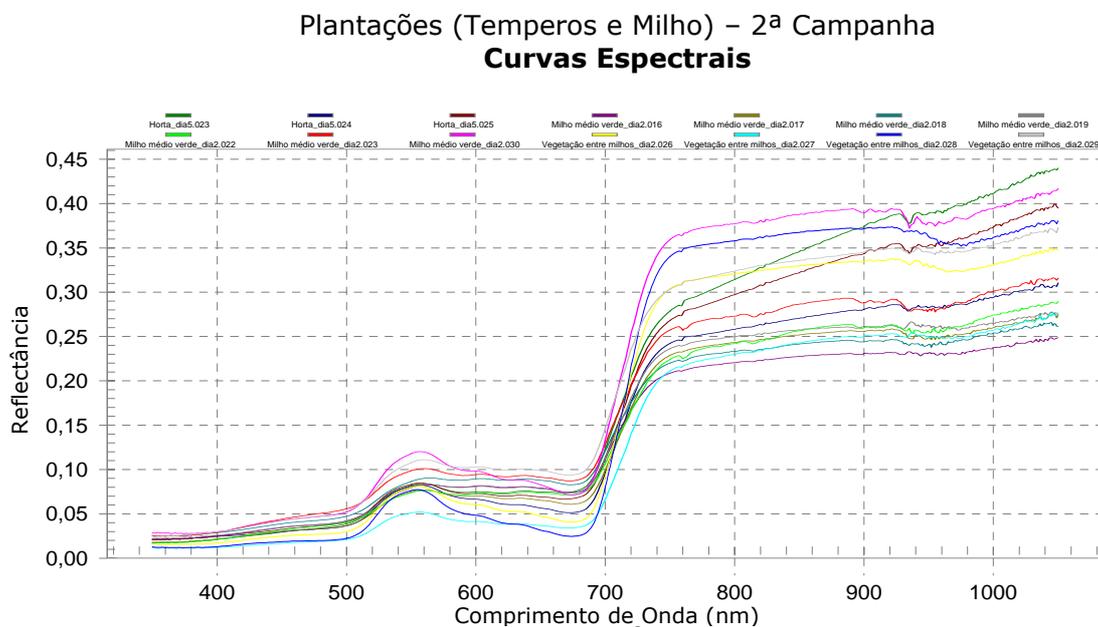
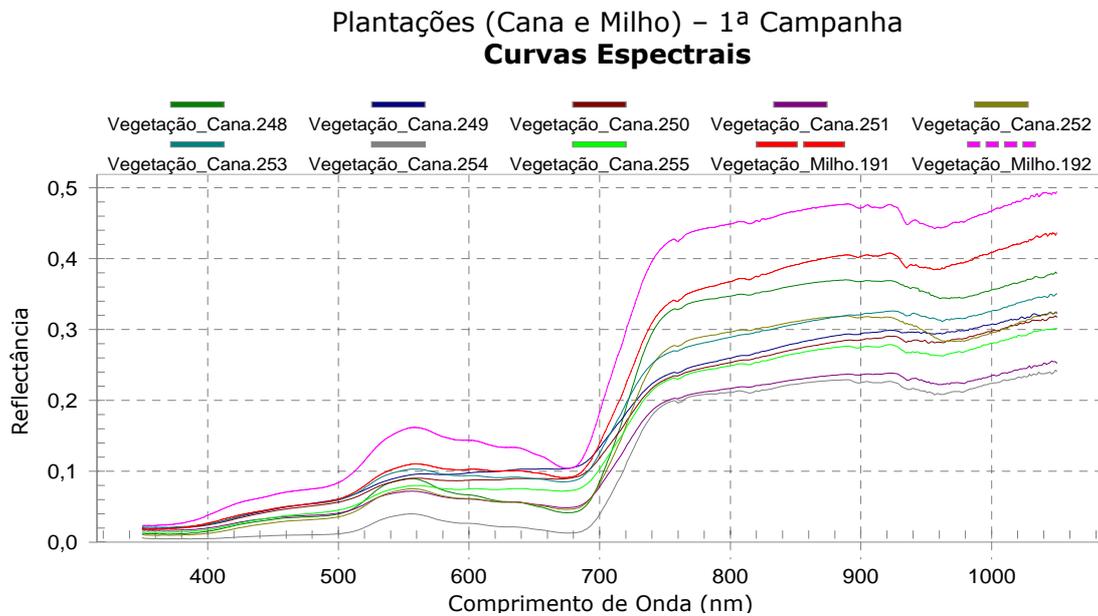


Figura 3.29 - Curvas espectrais de plantios da região, durante período seco (a) e em período úmido (b).



(a)

(b)

Foto 3.08 – Plantios de cana de açúcar (a) e de milho (b) na região.

3.4.2.4 - *Aluviões (depósito sedimentar)*

Neste tópico, o aluvião é visto somente como o depósito sedimentar constituído, predominantemente, por grãos de areia e, secundariamente, por argilas, siltes, cascalhos e pedregulhos.

As propriedades desse tipo de alvo é, basicamente, as mesmas apresentadas pelos afloramentos rochosos e pelos solos. Seu principal diferencial é o alto fator de reflectância, comparativamente a estes outros alvos e, evidentemente, sua associação direta com a drenagem.

A seguir, é apresentado as curvas espectrais dos aluviões (areias), em condições secas (Figura 3.30), com presença de água ((Figura 3.31) e com presença de vegetação rala (Figura 3.32). Para cada tipo mencionado é apresentado um registro fotográfico (Fotos 3.09; 3.10 e 3.11).

Mesmo em período úmido, as areias apresentaram reflectância elevadas, comparativamente aos solos e afloramentos rochosos. Alguns alvos também apresentaram comportamento fortemente afetado pela presença de ferro (Fe_2O_3) e/ou minerais opacos (Figura 3.30 b).

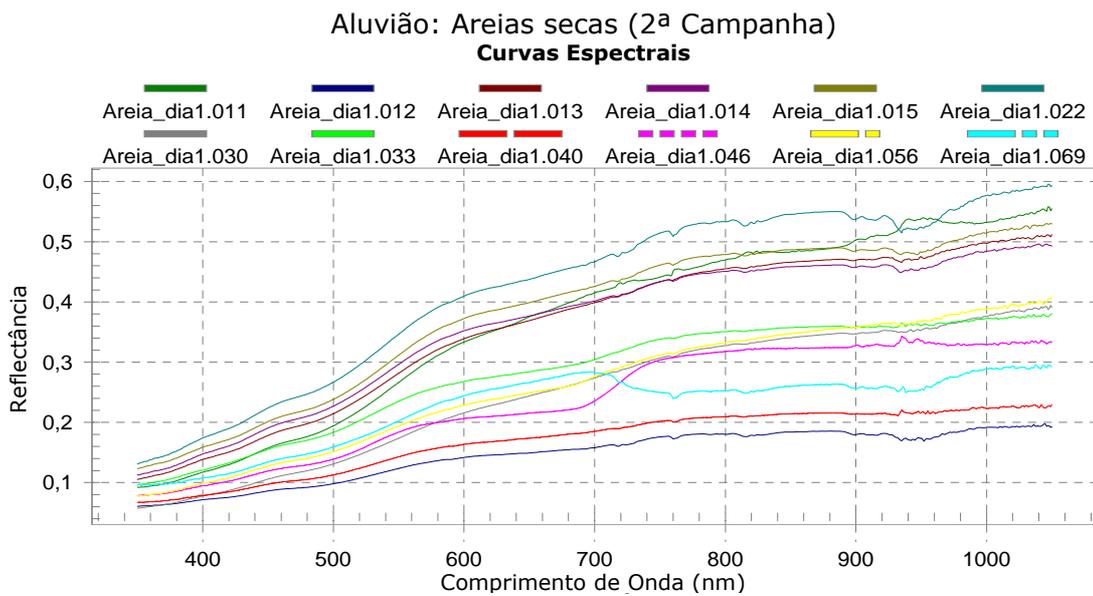
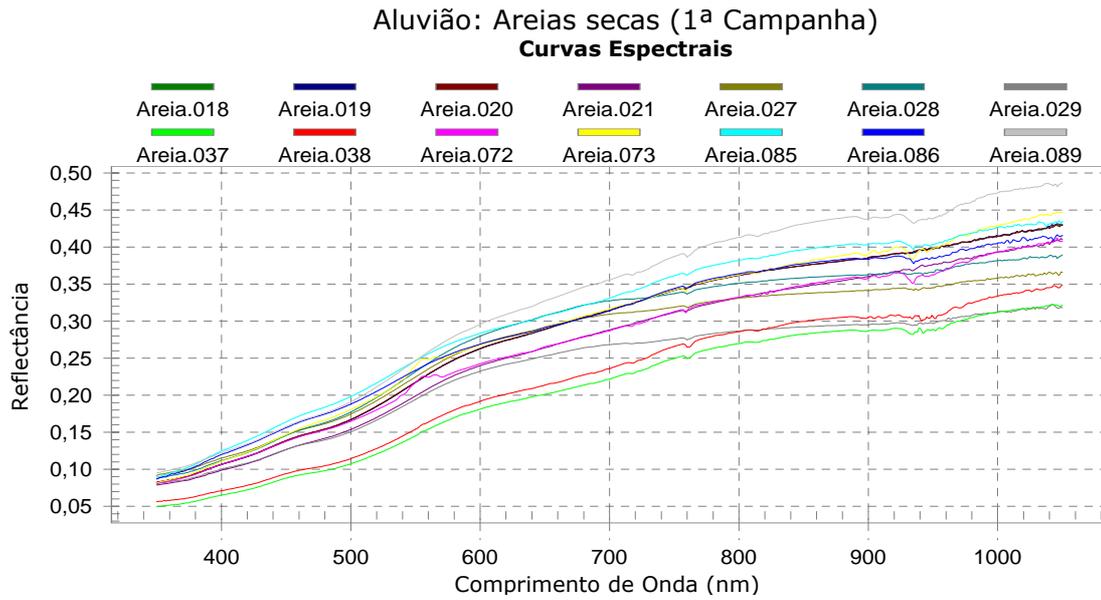


Figura 3.30 - Curvas espectrais de areias secas, durante período seco (a) e o período úmido (b).



(a)

(b)

Foto 3.09 – Aluviões expostos (areia), em período seco (a) e em período úmido (b).

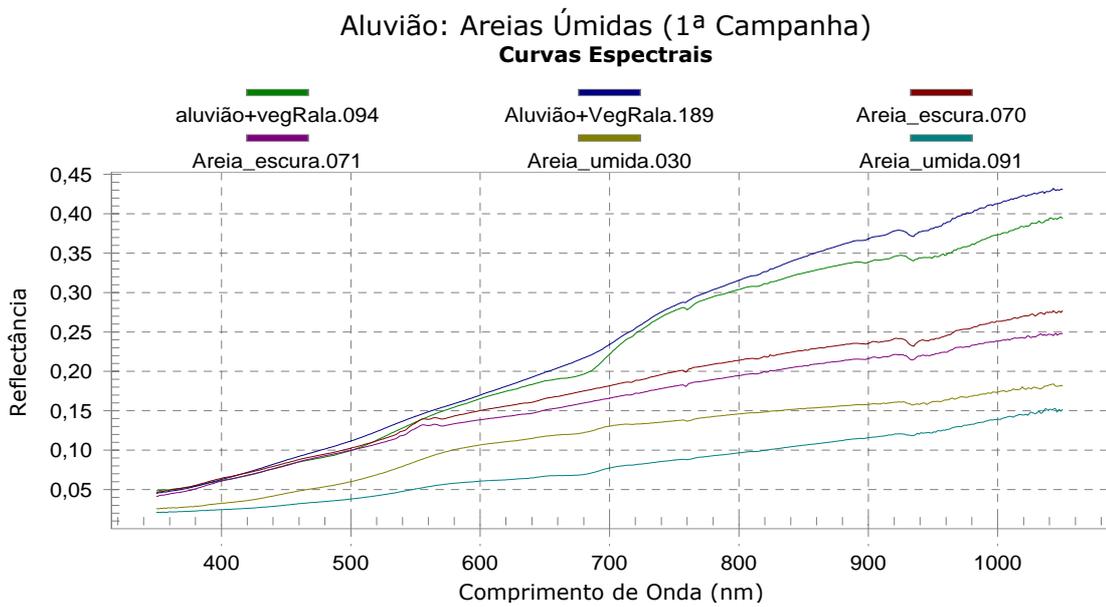


Figura 3.31 a - Curvas espectrais de areias úmidas, durante período de verão

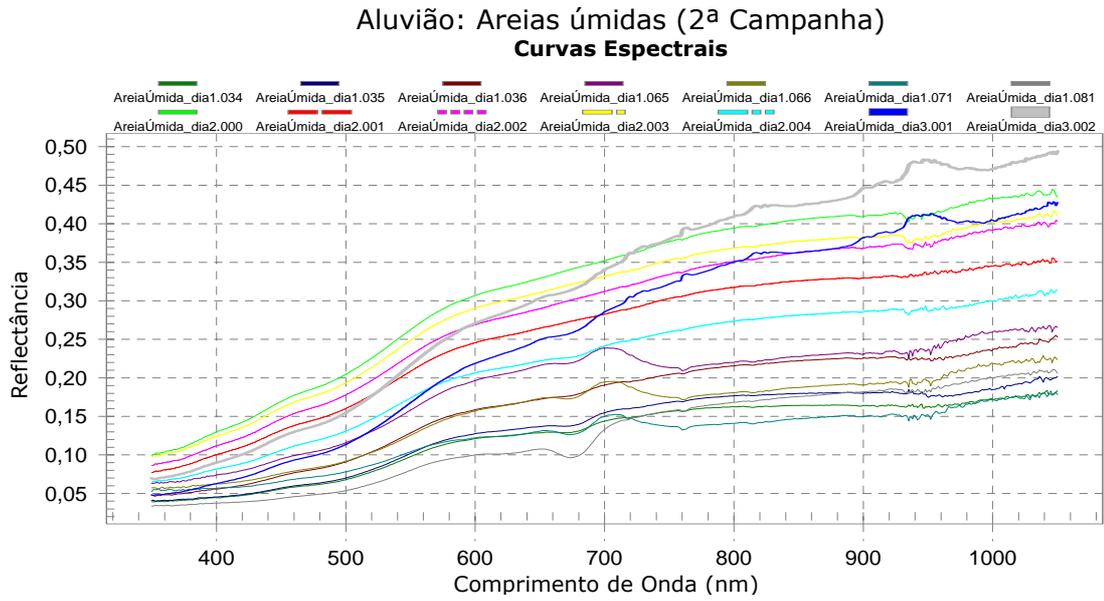


Figura 3.31 b - Curvas espectrais de areias úmidas, durante período de chuvas

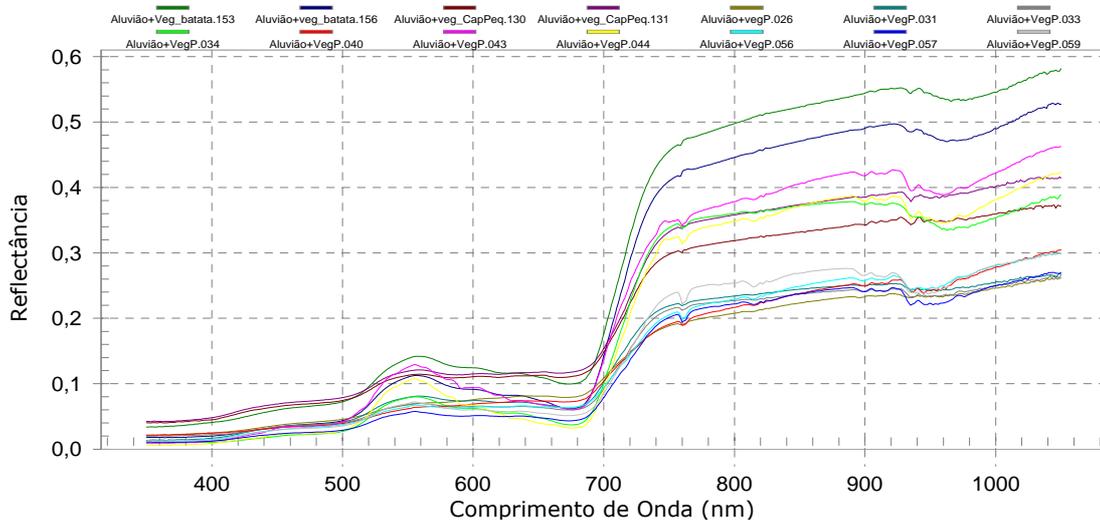


(a)

(b)

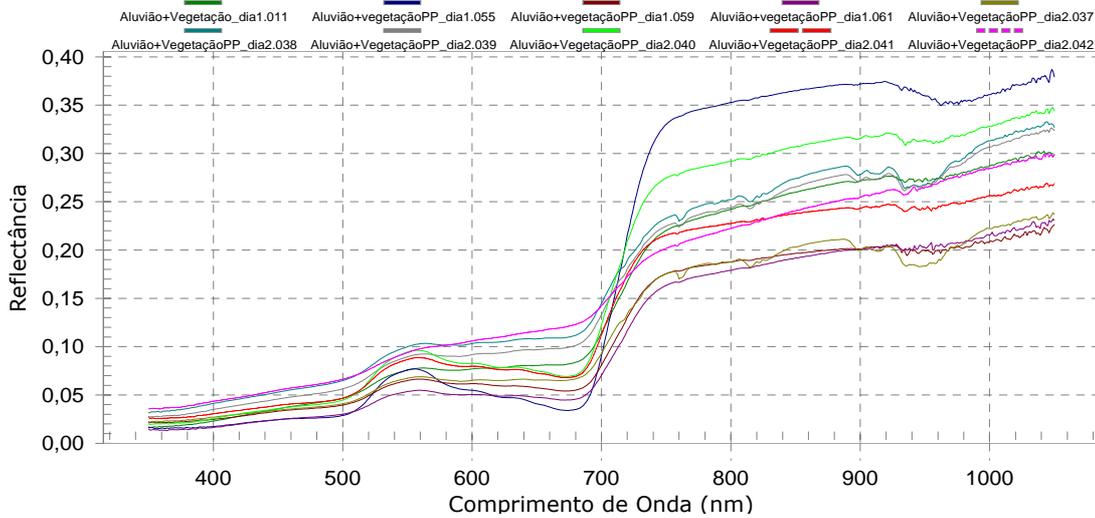
Foto 3.010 – Aluviões (areias) úmidos, em período seco (a) e em período úmido (b).

Aluvião: Areias com Vegetação Rala (1ª Campanha)
Curvas Espectrais



(a)

Aluvião: Areias com Vegetação Rala (2ª Campanha)
Curvas Espectrais



(b)

Figura 3.32 - Curvas espectrais de areias com vegetação rala, durante período seco (a) e o período úmido (b).



(a)

(b)

Foto 3.11 – Aluviões (areias) com cobertura vegetal rala em período seco (a) e em período úmido (b)

3.4.2.5 - *Todos os alvos*

Com base em todos os dados coletados em campo, nas duas campanhas, foram gerados os valores médios para cada tipo de alvo (água, rocha, solo, vegetação e sedimento, e suas variantes). A Figura 3.33 (a e b) apresenta estes dados, ordenados por campanha.

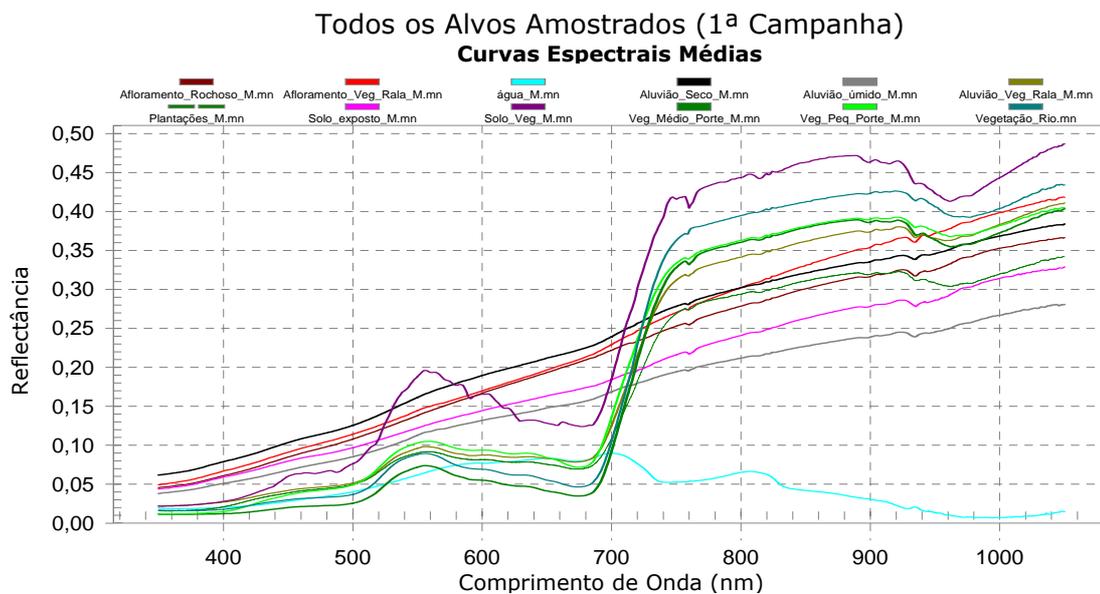


Figura 3.33 a - Curvas espectrais médias de todos os alvos, considerando o período seco.

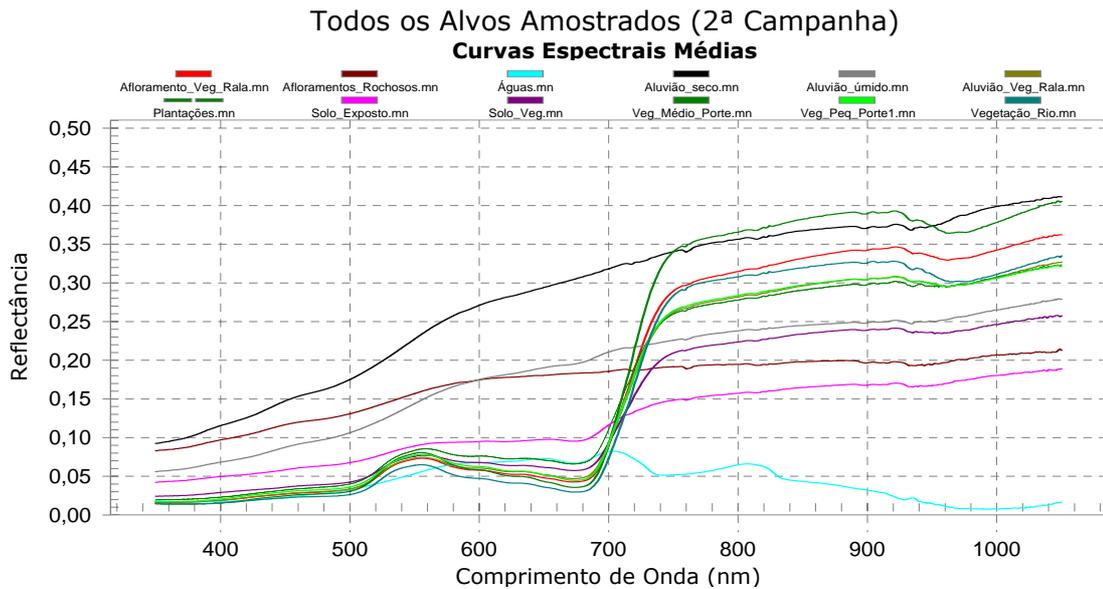


Figura 3.33 b - Curvas espectrais médias de todos os alvos, considerando o período úmido.

Analisando-se a Figura 3.33 constatou-se que as curvas que tem a presença de vegetação apresentam uma resposta espectral bem característica da assinatura espectral da vegetação encontrada em bibliotecas espectrais já existentes. Nestas curvas observar-se a característica baixa reflectância na zona do visível, pois nesta região do espectro a absorção da energia pela planta é maior para que a mesma possa realizar a fotossíntese; e um aumento significativo no valor da reflectância a partir da região do infravermelho próximo, ou seja, a partir de comprimento de onda 700 nm. A Figura 3.34 mostra a assinatura espectral retirada de uma biblioteca espectral do ENVI, correspondente à resposta espectral da copa de uma árvore (Pinheiro), a qual representa o comportamento espectral típico de uma vegetação.



FIGURA 3.34 – Resposta espectral do Pinheiro (Fonte: Sulsoft, 2004).

Um fato chama a atenção: a curva de reflectância média referente à vegetação arbustiva encontra-se abaixo (valores menores) da curva da vegetação rala. Isto pode ser explicado pela presença maior de pigmentos fotossintetizantes das folhas da vegetação arbustiva, que são responsáveis pela absorção maior da energia solar e, em consequência, geram uma reflexão menor.

Vários são os fatores que influenciam na radiação refletida pelos solos, entre eles pode-se citar a umidade, a matéria orgânica, a granulometria, a mineralogia da argila e o material de origem. Nas curvas médias referentes à resposta espectral da mistura contendo uma proporção maior de solo exposto, verifica-se que estas estão de acordo com as curvas encontradas em bibliotecas espectrais já existentes.

Os afloramentos de rochas, com ou sem vegetação presente, mostram comportamento semelhante aos solos, mas com reflectância maior, principalmente a partir da região do infravermelho próximo. A curva de reflectância média dos aluviões expostos se destacou dos demais alvos na região do espectro visível.

3.4.2.6 - *Pixel da imagem x espectrorradiômetro*

A Foto 3.12 mostra um aluvião bem característico da região (riacho Bonito), onde foram realizadas várias medições nos alvos que representam esse aluvião. Assim, foi obtido as curvas características/representativas deste aluvião (Figura 3.35).



FOTO 3.12 – Aluvião do Riacho Bonito.

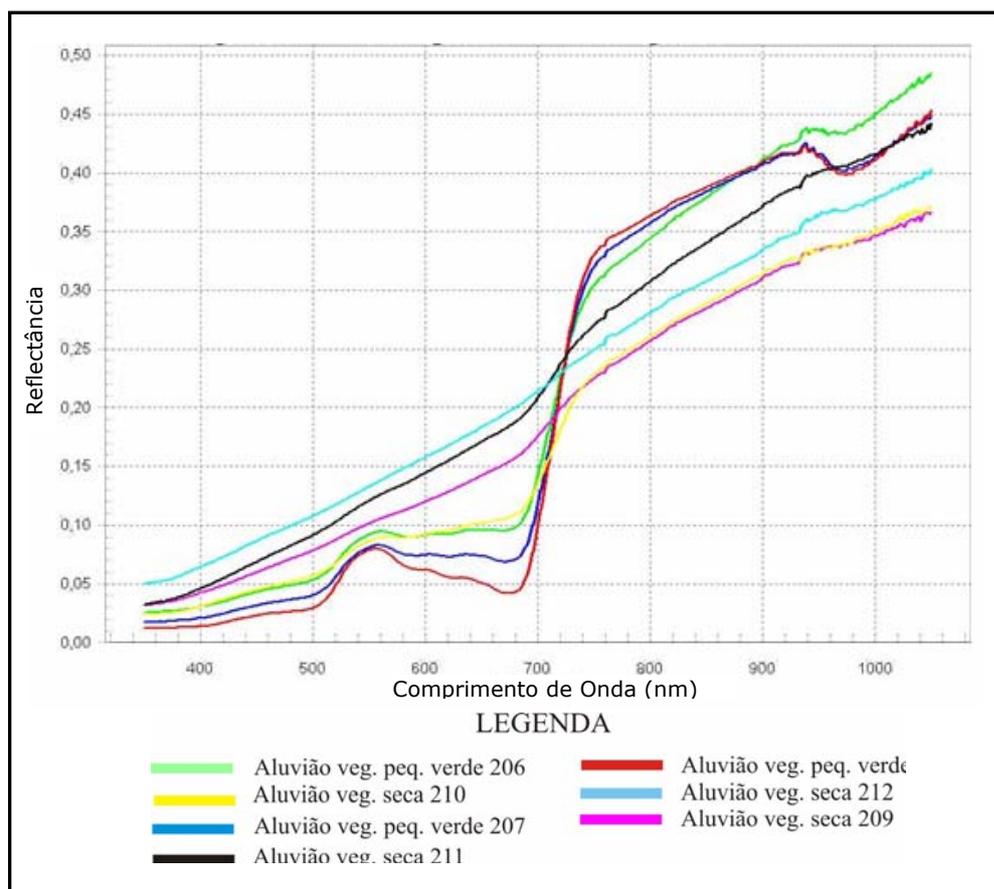


FIGURA 3.35 – Assinaturas espectrais dos alvos do aluvião no Riacho Bonito.

As curvas da Figura 3.35 representam a resposta espectral de vários pontos característicos do aluvião do Riacho Bonito. Os aluviões (depósito sedimentar) foi representado por areias com cobertura de vegetação de pequeno porte verde e vegetação seca (diferenciada das anteriores devido à falta de pigmentos fotossintetizantes).

A Tabela 3.15 apresenta os valores de níveis de cinza (DNs) dos *pixels* das três primeiras bandas da imagem ASTER "1326", Bandas 1, 2 e 3N, correspondentes ao locais onde foram feitas as amostragens dos alvos com o espectrorradiômetro.

TABELA 3.15 – DN's dos pixels registrado pelo espectrorradiômetro

Canais	Bandas	Pontos (DN's)						
		206	207	208	209	210	211	212
R	Banda 2	68	58	51	46	46	58	90
G	Banda 3N	87	93	87	79	79	79	79
B	Banda 1	87	76	72	69	69	75	99

Os pontos 209 e 210 pertencem ao mesmo *pixel* na imagem, porém para os comprimentos de onda de 400 nm a 700 nm houve uma diferença na resposta espectral, isso pode ser justificado pelo fato que em um mesmo *pixel* há uma mistura espectral dos vários alvos que representam o DN do *pixel* na imagem. O Valor do DN corresponde a uma média da energia refletida por um *pixel*, sendo o *pixel* dessa imagem de 15x15 m e a área do alvo registrada pelo sensor do espectrorradiômetro nesta situação de aproximadamente 1 m². Porém, para comprimento de onda entre 700 nm e 1050 nm, as duas curvas praticamente se sobrepõem uma à outra, neste ponto podemos supor, a princípio, que para os alvos em estudo nesta região do espectro a resposta é praticamente a mesma.

3.5 - Pré-processamento das Imagens ASTER

As imagens ASTER adquiridas no nível 1B de processamento já foram submetidas às correções geométricas e radiométricas, porém essas imagens ainda assim necessitam de pré-processamento. Isto para que seja possível aplicar algum método de classificação automática através de bibliotecas espectrais. Em virtude disto descrevemos o pré-processamento desenvolvido neste trabalho.

3.5.1 - Correção do "cross-talk" nas bandas do sensor ASTER (sub-sistema SWIR).

O *cross-talk* em sensoriamento remoto refere-se ao fenômeno em que o sinal elétrico ou óptico de uma banda interfere em outra banda do sensor. A imagem ASTER tem esse problema nas bandas do SWIR que é ocasionado pelo espalhamento da luz incidente no sensor que registra a radiação da banda 4 e causa interferência nas bandas 5, 6, 7, 8 e 9. Esse problema pode ser corrigido através de um software desenvolvido pela ERSDAC 2001, "*Crosstalk3*".

É possível encontrar mais detalhes sobre esse problema em ASTER GDS (2006). Nesta página encontram-se explicações como ocorre a interferência nas bandas e os parâmetros a ser usados no programa de correção.

3.5.2 - Combinação das bandas VNIR e SWIR para a mesma resolução espacial

Como mencionado anteriormente, as imagens ASTER são compostas de três sub-sistemas: visível e infravermelho próximo (VNIR), infravermelho médio (SWIR) e infravermelho termal (TIR). As bandas do SWIR estão com uma resolução espacial de 30 m. Como essas bandas pertencem a um subsistema diferente do VNIR não é possível fazer uma combinação desses dois subsistemas com o objetivo de gerar uma imagem multiespectral sem antes reamostrar para a mesma resolução espacial. Para que isso ocorra é necessário fazer uma reamostragem das

bandas do SWIR para uma resolução espacial de 15 m, a mesma resolução espacial das bandas do VNIR. Essa reamostragem transforma um pixel de 30 m para um de 15 m.

Nesse processo foi adotado o vizinho mais próximo para reamostrar os valores digitais de cada *pixel*. Dessa maneira é possível integrar ou juntar as 3 bandas do VNIR com as 6 bandas do SWIR, formando assim 9 bandas com a mesma resolução espacial. Nesta situação é possível combinar essas 9 bandas nos canais RGB, sendo que só é possível carregar simultaneamente cada grupo de 3 bandas para obtermos as mais variadas tonalidades de cores das feições e realçar alguma feição de interesse.

Portanto, uma gama maior de informações, que muitas vezes somente com as bandas VNIR não seria possível identificar, podem agora serem identificadas com essa nova composição, possibilitando assim uma resolução espectral bem maior a ser usada no processamento de imagens.

A Figura 3.36 mostra as etapas para reamostrar as bandas do SWIR para uma resolução espacial de 15 m e depois juntar com as bandas do VNIR.

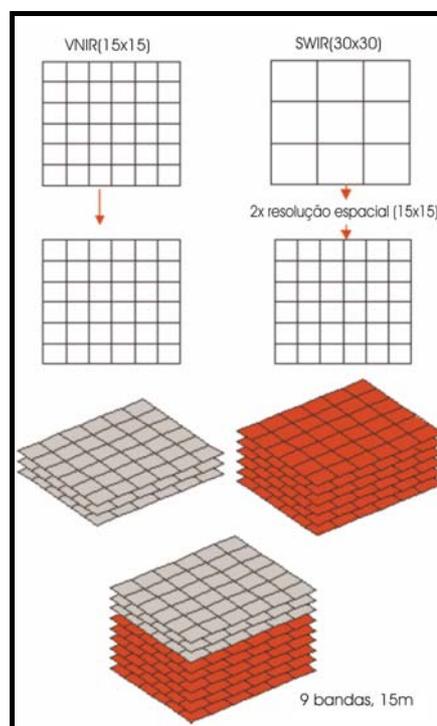


FIGURA 3.36 – Compatibilização de resoluções espaciais entre imagens VNIR e SWIR do sensor ASTER. Fonte: (Rojas, 2005).

3.5.3 - Correção atmosférica das imagens ASTER.

As imagens ASTER, no formato HDF, quando são carregadas no ENVI 4.2 são transformadas automaticamente para radiância, portanto não é necessário fazer a transformação de DN para radiância, apenas é necessário aplicar um fator de escala para ajustar a unidade em radiância e transformar o arquivo para o formato 'bil'. Após esses ajustes as imagens ASTER estão prontas para ser processada a correção atmosférica no FLAASH. A Figura 3.37 mostra uma janela do FLAASH e os parâmetros usados na correção atmosférica, sendo produto de saída do FLAASH, após a transformação, uma imagem que será escalonada através de matemática de bandas para que a mesma esteja com valores de reflectância no intervalo entre 0 e 1. Esse módulo de processamento juntamente com o ENVI e os demais programas usados nesta dissertação foram fornecidos pela FUNCEME.

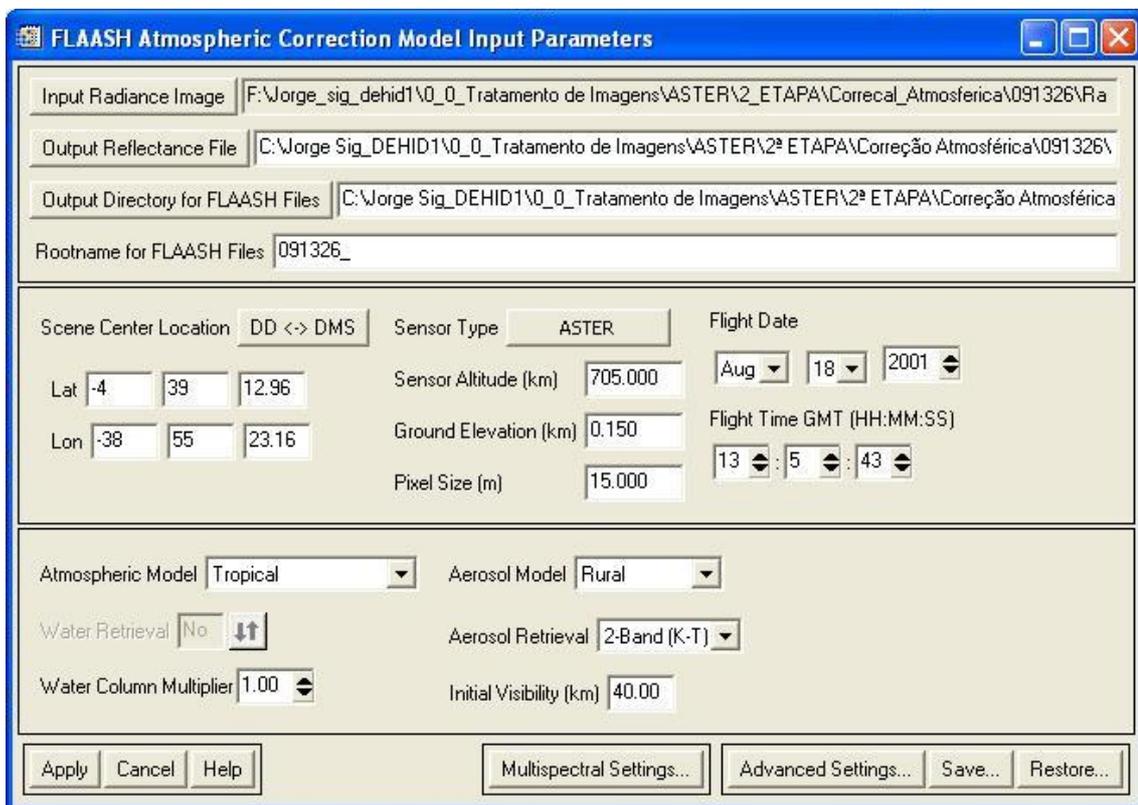


FIGURA 3.37 – Janela do Módulo FLAASH para correção atmosférica.

Após a correção atmosférica, a imagem está pronta para o processamento digital e poderão ser usadas como parâmetros da classificação, assinaturas espectrais geradas a partir de um espectrorradiômetro, bibliotecas espectrais existentes ou assinaturas espectrais geradas da própria imagem.

3.5.4 - Classificação com o uso de bibliotecas espectrais.

Com o uso de biblioteca espectral foram realizados dois tipos de classificação dos aluviões em imagens ASTER com base em: 1. curvas espectrais coletadas dos alvos na própria imagem com o uso de ROI's (regiões de treinamento) e acrescentando as estas, as curvas espectrais registradas através do espectrorradiômetro dos aluviões; e, 2. apenas curvas espectrais geradas da própria imagem para todos os alvos.

A primeira classificação para esse tipo de imagem foi usada somente nas bandas 1, 2 e 3 do sensor ASTER, pois somente essas bandas cobrem a faixa espectral do espectrorradiômetro. Após esse processo, foi realizada uma análise visual com a classificação gerada em cima da imagem e o resultado não foi satisfatório. Nesta classificação não foi possível separar aluvião de solo exposto e vegetação rala com um nível de definição satisfatório. A classificação gerou uma confusão muito grande de *pixels* de aluvião com solo exposto e vegetação. Alguns dos motivos para o baixo desempenho da classificação com assinaturas espectrais geradas pelo espectrorradiômetro podem ser as resoluções espacial e espectral da imagem, pois para usar as assinaturas espectrais reduzimos a resolução espectral da imagem de 9 bandas para 3 bandas, cobrindo assim apenas as regiões do visível e infravermelho próximo. Ao usar uma curva espectral do espectrorradiômetro essa é reamostrada para a resolução espectral do sensor o qual foi gerada a imagem, ou seja, a curva do espectrorradiômetro é contínua e quando esta é reamostrada adquire a resolução espectral da imagem. A resolução espacial do sensor ASTER é baixa para os propósitos da classificação supervisionada usando biblioteca espectral. Esses dois tipos de resolução em conjunto contribuíram de forma significativa para o baixo desempenho.

A segunda classificação foi desenvolvida apenas com base em assinaturas espectrais coletada na imagem, usando as 9 bandas do sensor ASTER nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Nesta fase da classificação foram testados dois classificadores, o SAM e a Distância Mínima, uma vez que o MAXVER não pode ser usado com curvas espectrais, pois não é possível calcular a matriz de covariância que é usada neste classificador. Os resultados adquiridos nesta classificação foram melhores que a classificação anterior, porém ainda assim deixa um pouco a desejar para o mapeamento dos aluviões. Ainda ocorreu uma grande *confusão* entre as classes aluviões e solo exposto. O resultado desta classificação pode ser visto na Figura 3.38, em que foi gerado um mosaico com as três classificações geradas, cobrindo-se assim toda a folha de Itapiúna. Em algumas áreas, como em serra, ocorreu uma confusão dos *pixels*.

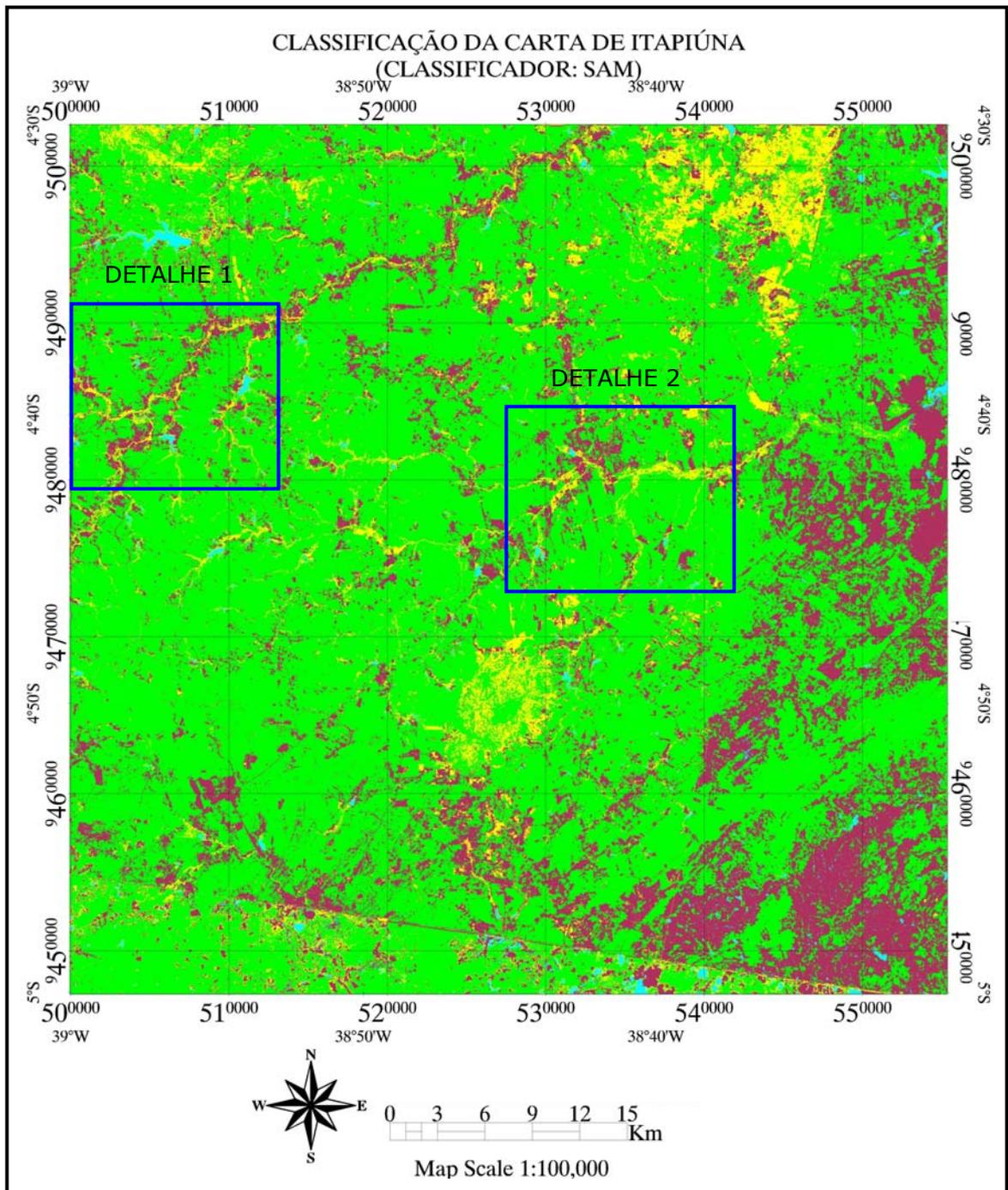


FIGURA 3.38 – Classificação de imagens ASTER – a partir de 9 bandas espectrais. Em destaque áreas selecionadas do rio Choro (detalhe 1) e do rio Pirangi (detalhe 2).

As Figuras 3.39 e 3.40 mostram detalhes dos aluviões no rio Choró e rio Pirangi, respectivamente. Nestes dois casos verificamos uma boa definição dos corpos aluvionares, apesar de ocorrer ainda em pontos isolados misturas de *pixels*.

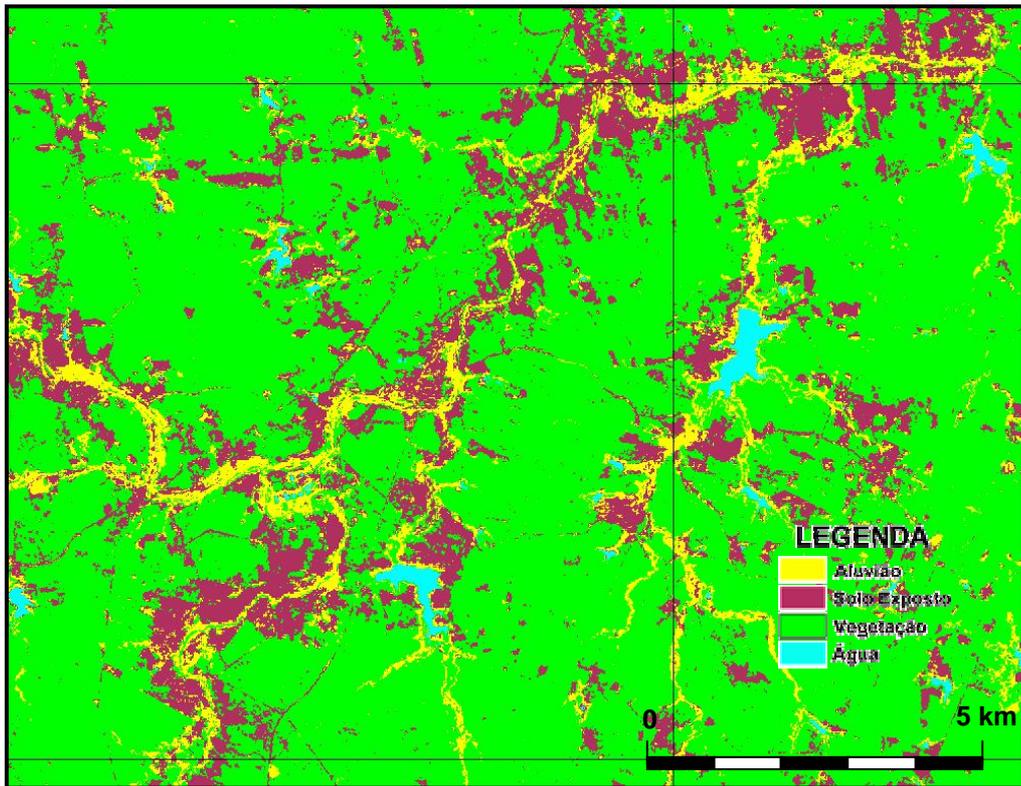


FIGURA 3.39 – Detalhe 1 do aluvião no rio Choro.

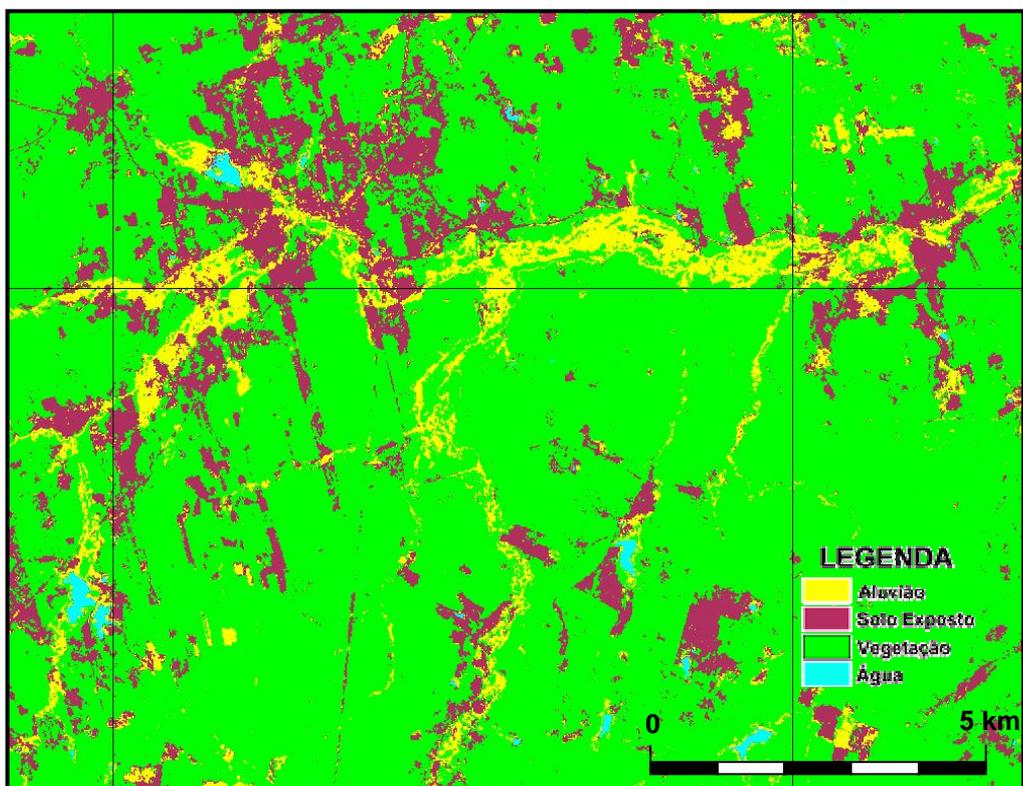


FIGURA 3.40 – Detalhe 2 do aluvião no rio Pirangi.

A avaliação desta classificação usando como critérios de *performance* a Matriz de Confusão e outros Índices de avaliação (Kappa e Acurácia Aluvião) mostra que a imagem 1326 obteve um maior desempenho da classe aluvião. O resumo deste resultado da avaliação encontra-se na Tabela 3.16. As imagens 0033 e 0034 são imagens do período úmido em que a vegetação cobria de maneira uniforme praticamente toda a área da imagem, ocasionado assim uma mistura entre os *pixels* presentes nos aluviões e no cristalino. Neste caso, a resposta espectral dos aluviões foi semelhante à resposta dos *pixels* presentes no cristalino.

TABELA 3.16 – Resumo da avaliação da classificação de aluviões em imagem ASTER.

Imagens/Classificador	Acurácia Global	Kappa	Acur. Aluvião
0033/SAM	86,36%	0,83	50,57%
0034/SAM	87,44%	0,83	59,07%
1326/SAM	90,52%	0,88	67,59%

3.6 - O mosaico das imagens ASTER

A Folha de Itapiúna em estudo abrange três imagens de satélite do sensor ASTER, embora duas delas representem uma pequena área em relação à outra. Assim, é necessário fazer o mosaico das três imagens e em seguida recortar somente a área de interesse com base nas coordenadas do canto superior esquerdo e canto inferior direito da Folha de Itapiúna. O método usado na reamostragem foi o vizinho mais próximo, embora o mosaico das imagens não fosse usado no processo de classificação. Foi através do mosaico que foi possível montar um produto final juntando as três classificações e avaliar de forma visual os resultados da classificação.

A “*mosaicagem*” foi desenvolvida pelo ENVI, e o balanceamento de cores foi feito com base na imagem que possuem a maior área dentro da Folha de Itapiúna, com isso foi possível obter uma imagem com um ajuste melhor das cores representativas dos alvos, o que pode ser visto na Figura 3.41.

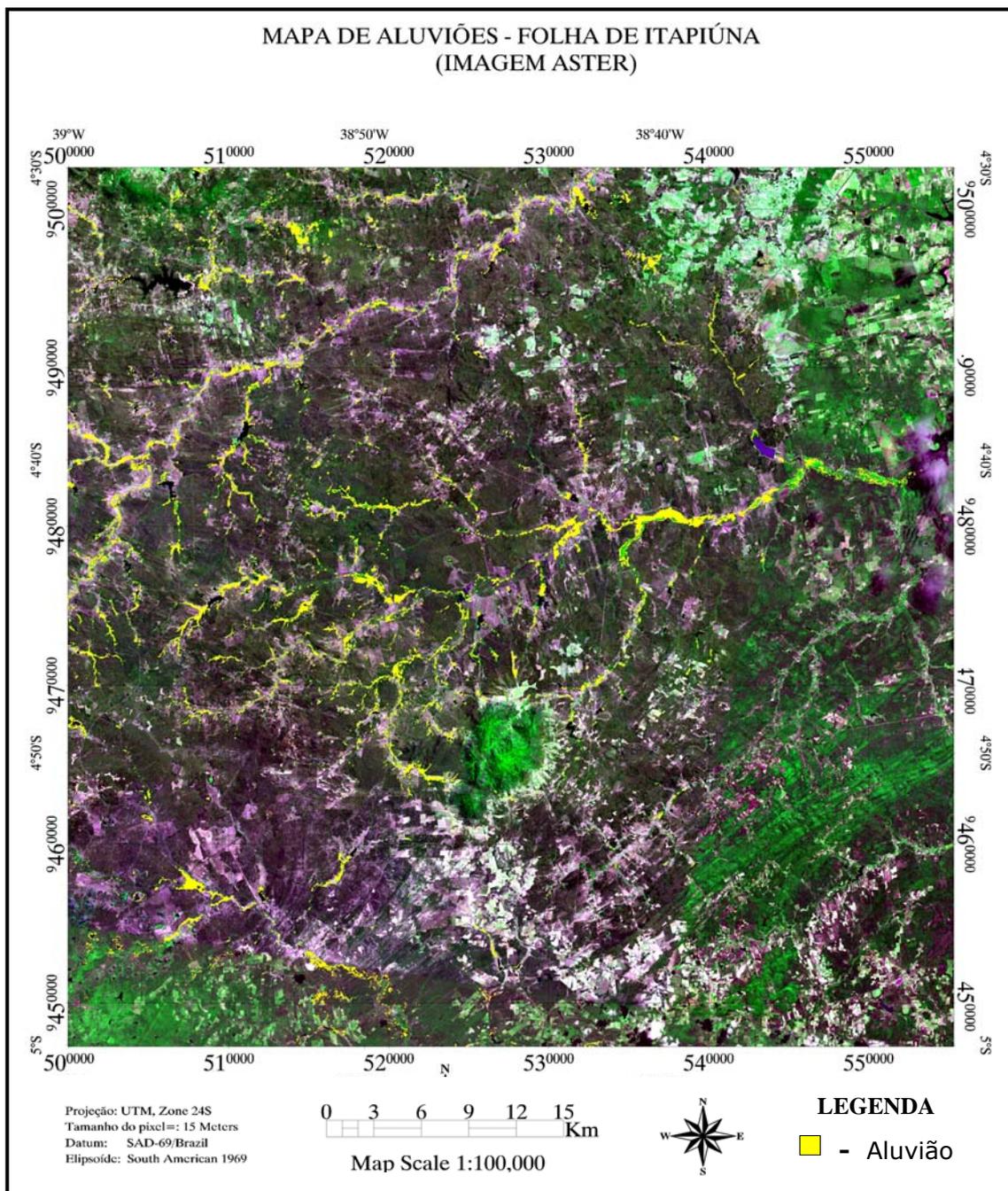


FIGURA 3.41 – Mosaico com as imagens ASTER e a classificação dos aluviões.

3.7 - Classificação a Partir das Imagens SPOT5

Um dos objetivos do projeto é comparar os produtos de mapeamento de aluviões gerados a partir de imagens de resolução espacial diferente. Originalmente o projeto previa a aquisição de imagens SPOT que cobrissem a folha Itapiúna. Infelizmente isto não foi possível por ter sido subestimado o valor das referidas imagens, além da constatação de que seria necessário mais imagens que o previsto para cobrir toda a área do projeto.

Buscou-se uma área onde houvesse disponibilidade de imagens SPOT, com resolução espacial maior que as ASTER. A área escolhida para esse estudo está localizada no Município de Quixeramobim – CE e corresponde à bacia hidrográfica do Riacho Forquilha, com uma área do retângulo envolvente desta bacia de aproximadamente de 734 km², e área da bacia de 216 km², o que pode ser visualizado nas Figura 3.42 e 3.43. Vários trabalhos de pesquisa estão em andamento nesta bacia, entre estes se pode citar o de Burte (2006). Esta bacia experimental está sendo monitorada pelo grupo de hidrologia da FUNCEME e está sendo utilizada como laboratório de experimentos em hidrologia no semi-árido.

Assim, sob anuência das pessoas responsáveis por tais imagens, foi aplicada a elas o mesma metodologia usada na classificação dos aluviões a partir de imagens ASTER, inclusive usando assinaturas espectrais registradas pelo espectrorradiômetro nesta bacia. Foram usadas as imagens SPOT5 XS-170703 e XS-021002, com resolução de 10 e 5 m, respectivamente. Salienta-se que estas imagens foram adquiridas através do Programa ISIS (Incentivo ao Uso Científico de Imagens Spot) do CNES (Centro Nacional de Estudos Espaciais da França), dentro do projeto de cooperação bilateral franco-brasileiro CAPES-COFECUB nº 474-04).

A cena XS-170703 possui uma resolução espacial de 10 m, registrada pelo sensor em 17/07/2003, logo após a estação de chuvas, e a cena XS-021002 possui mesma órbita/ponto e foi registrada em 02/10/2002 no período seco, com a fusão da banda Pan com as bandas multiespectrais, gerando assim uma nova imagem com uma resolução espacial de 5 m. As duas imagens têm a mesma resolução espectral, sendo que, na classificação usando biblioteca espectral, foram usadas apenas as bandas 1, 2 e 3 do sensor SPOT5 que cobre a faixa espectral do espectrorradiômetro.

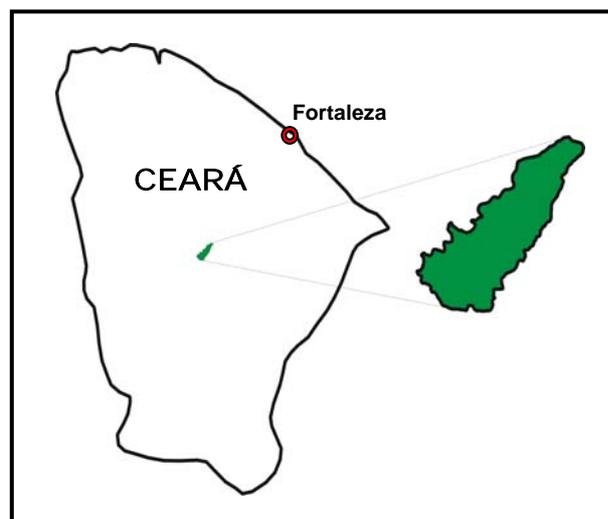


FIGURA 3.42 – Bacia hidrográfica do riacho Forquilha.

Para realizar este trabalho foi desenvolvida uma metodologia para a coleta das assinaturas espectrais, a qual consistiu em levantar esses dados dos diversos alvos que cobrem os aluviões. Os alvos levantados são apresentados na Tabela 3.17. Para cada alvo foi registrada várias assinaturas espectrais ao longo das seções transversais do riacho, sempre contemplando aluviões representativos da região. Esse levantamento, ou o registro das assinaturas espectrais, foi realizado em 20/04/2006 das 13h00min às 15h00min, horários com pouca cobertura de nuvens.

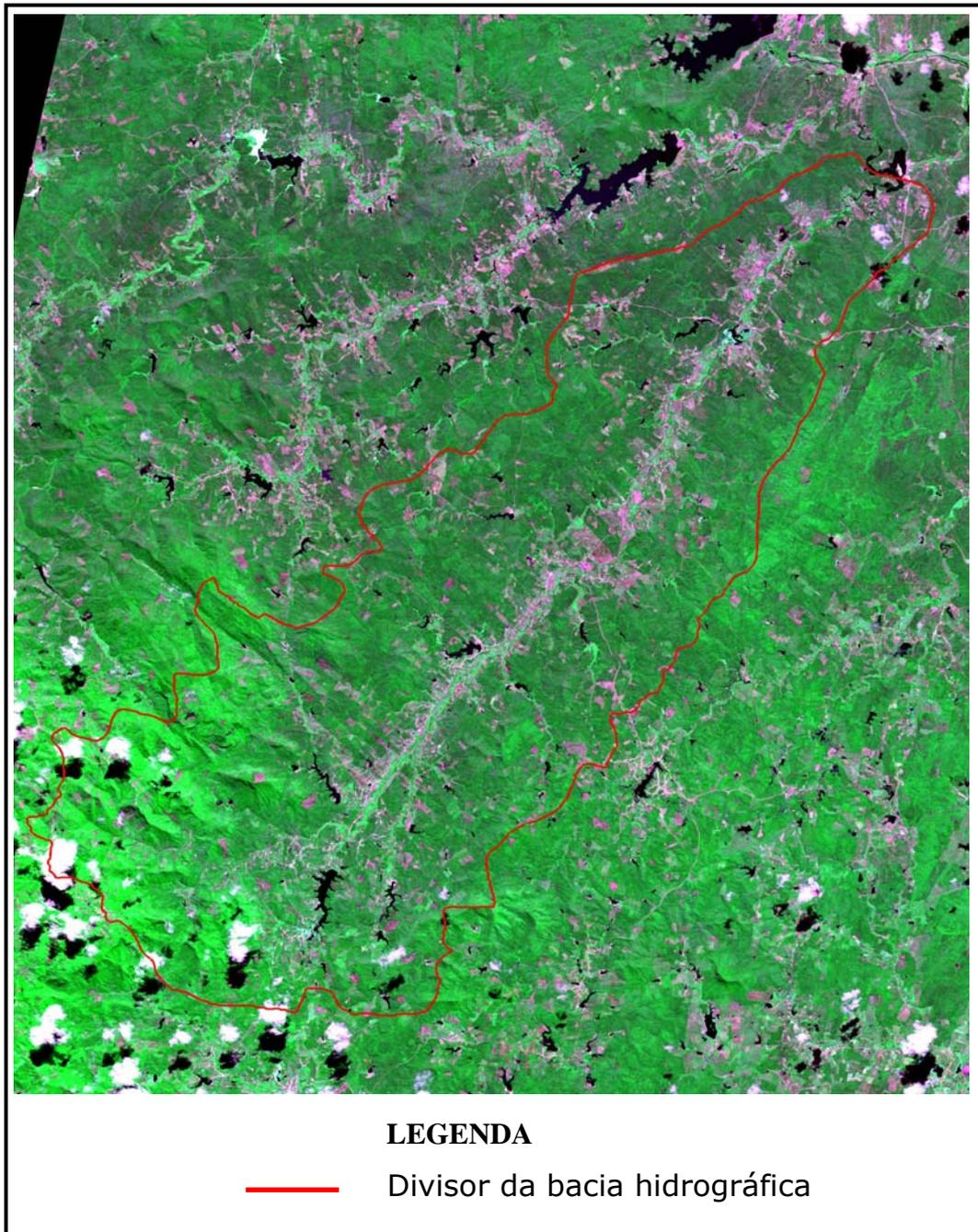


FIGURA 3.43 – Imagem da bacia do riacho Forquilha.

Após a coleta das informações em campo, foram processadas as assinaturas espectrais ou curvas, sendo gerada uma nova e única curva com as curvas de cada alvo, esta correspondente à média das curvas dos alvos que estão cobrindo o aluvião. A Tabela 3.17 mostra os alvos dos quais foram calculados as médias, sendo o alvo número 10 na verdade a média de todos os alvos que cobrem o aluvião. Essas curvas foram usadas posteriormente como parâmetros para a classificação dos aluviões. Essa Tabela mostra os principais alvos em que foram coletadas as assinaturas espectrais.

TABELA 3.17 – Assinaturas espectrais registradas na imagem SPOT.

Nº	Alvo	Cobertura
1	Aluvião	Vegetação
2	Aluvião	Gramma
3	Aluvião	Capim
4	Aluvião	Tomate mais mato
5	Cristalino	Solo exposto
6	Aluvião	Feijão
7	Aluvião	Milho
8	Aluvião	Solo exposto
9	Aluvião	Solo exposto mais capim
10	Aluvião	Médias das coberturas

As imagens SPOT5 nos formatos "TIF" e "DIMAP" estão com as respostas espectrais em Digital Number (DN) e foram transformadas para radiância. Posteriormente usando o módulo FLAASH do ENVI, foram transformadas para reflectância na superfície do alvo.

3.7.1 - Pré-processamento das imagens SPOT

O registro das duas cenas foi realizado a partir das imagens *Geocover* (*LANDSAT*), porém a imagem XS-021002 multiespectral com tamanho do *pixel* 10

m foi submetida à fusão de imagens juntamente com a banda pancromática de 5 m, gerando assim uma nova imagem multiespectral com uma resolução espacial de 5 m. Em seguida foi feito o registro com os pontos de controle da imagem XS-170703, já que as duas imagens pertencem à mesma órbita/ponto.

As duas imagens foram então transformadas para radiância usando matemática de bandas do ENVI, e para tal, foram usados os coeficientes de calibração no modelo matemático. Os coeficientes de calibração do modelo acompanham a imagem e a formulação matemática encontra-se logo abaixo. A formulação matemática para converter imagens SPOT de DN para radiância segue a expressão abaixo

$$L = \frac{X}{A} + B \quad (3.05)$$

onde L = Valor em radiância: Unidade $\left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m} \right)$;

X = Valor do DN (0 a 255);

A = "gain", calibração absoluta, para cada banda espectral e,

B = "offset", calibração absoluta, para cada banda espectral.

O resultado desta transformação são bandas separadas por arquivos, ou seja, cada banda corresponde a um arquivo independente. Essas bandas necessitam serem agrupadas em um único arquivo para que possam ser usadas no FLAASH. Após a junção das bandas, ainda há a necessidade de ajustar as unidades de radiância e transformar para o formato "BIL". Com isso as imagens estão prontas para serem carregadas e processadas no módulo FLAASH para correção atmosférica. Como produto de saída obtém-se uma nova imagem com a resposta espectral em reflectância na superfície. Após essa correção, ainda existe a necessidade de outro ajuste usando matemática de bandas para que a resposta espectral dos alvos esteja no intervalo entre 0 e 1.

3.7.2 - Processamento das imagens SPOT

Para melhorar o desempenho computacional na classificação foi recortada somente a área envolvente da bacia e reamostrada a nova imagem apenas para as bandas 1, 2 e 3. Na parametrização da classificação foram coletadas assinaturas espectrais na imagem dos alvos que não foram coletas em campo com o espectrorradiômetro. Entre esses alvos destacamos: Vegetação rala, água e solo

exposto. Para o aluvião foi utilizado as assinaturas espectrais relacionados na Tabela 17, sendo que cada cobertura do aluvião correspondeu a uma classificação, gerando assim um mapa temático com as classes: aluvião, água, vegetação rala e solo exposto. Na classificação supervisionada, dos classificadores testados, dois foram escolhidos para classificar as duas imagens: Distância Mínima e "Spectral Angle Mapper" (SAM), sendo que o método Distância Mínima obteve um melhor desempenho para a cena XS-170703. Esta conclusão baseou-se em análise visual a partir da sobreposição da classificação na imagem que gerou a classificação. Das 10 classificações utilizando o classificador escolhido, a que se mostrou com uma melhor definição dos corpos aluvionares foi aquela referente ao aluvião com cobertura de grama e a partir das verdades de campo foi calculada a Matriz de Confusão, Acurácia Global, Índice Kappa e Acurácia do Aluvião.

Com a escolha feita da classificação, podemos melhorar o mapa temático da classificação através de processos de pós-classificação. Para obtenção desse mapa "corrigido" foi usado o agrupamento de *pixels* soltos no mapa, sendo que aqueles *pixels* que se encontravam espalhados no mapa temático, foram agrupados em outra classe com uma maior afinidade devido a sua localização. Em seguida, foi editada a classificação manualmente para remover alguns pixels que se misturaram com outras classes ao longo da bacia, com isso gerou-se um mapa temático com uma boa definição dos aluviões que se encontra na Figura 3.44. Um detalhe do aluvião mapeado encontra-se na Figura 3.45, onde percebemos em alguns trechos um avanço do domínio da classe vegetação no aluvião. Isso pode ser justificado pela presença, na época em que foi registrada a imagem, da mesma vegetação cobrindo a área do aluvião e do cristalino. Uma análise visual a partir da Figura 3.46 revela em alguns trechos um super-dimensionamento dos corpos aluvionares, o que pode ser justificado pelo fato da imagem que gerou a classificação ter sido registrada pelo sensor no período úmido, levando a uma mistura de *pixels* com as respostas espectrais semelhantes em áreas com a presença de aluvião e *pixels* que estão presentes no cristalino.

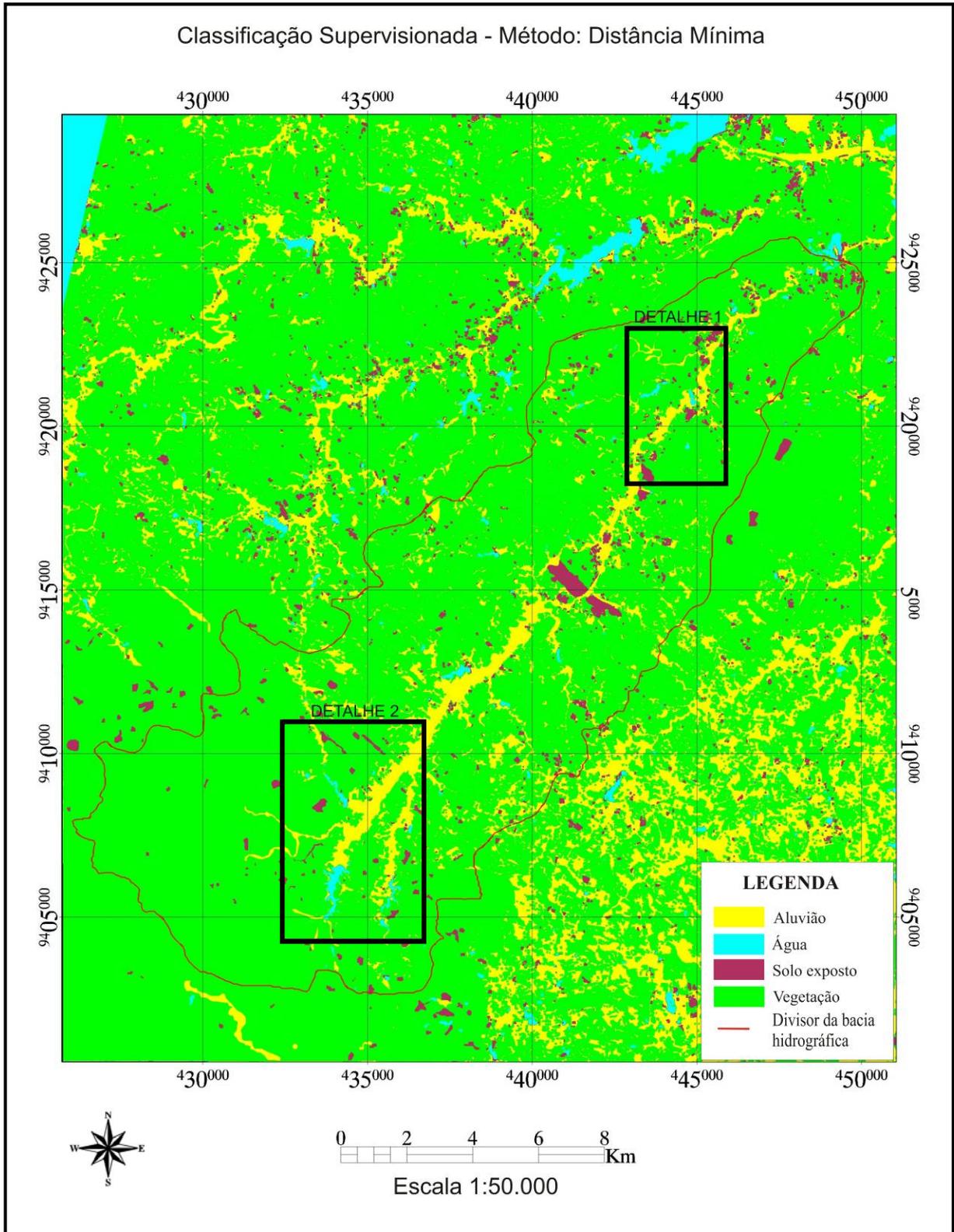


FIGURA 3.44 – Mapa temático da bacia do riacho Forquilha. Em destaque duas áreas de aluvião desse riacho.

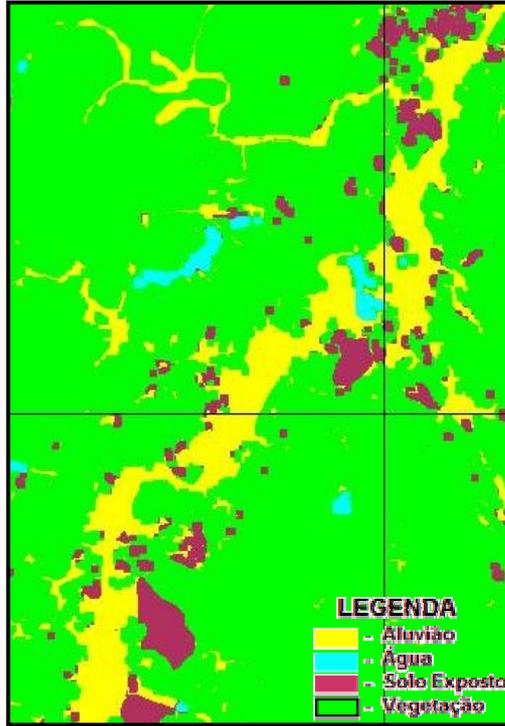


FIGURA 3.45 – Detalhe 1 do aluvião do riacho Forquilha.

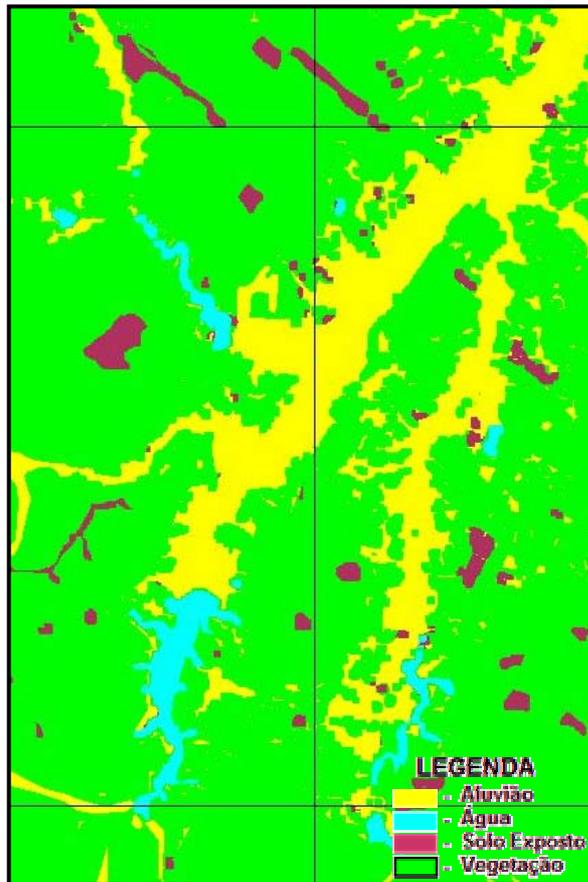


FIGURA 3.46 – Detalhe 2 do aluvião do riacho Forquilha.

TABELA 3.18 – Resultados da classificação - imagem SPOT5 10 m.

Método – Distância mínima.

MATRIZ DE CONFUSÃO, ACURÁCIA GLOBAL E ÍNDICE KAPPA								
Classe	Água	solo exposto	Vegetação	Aluvião	Total	Erro de inclusão (%)	Erro de omissão (%)	Pixels bem classificados (%)
Água	100,00	0,00	0,00	0,00	22,96	0,000	0,000	100,000
Soloexposto	0,00	99,18	0,00	0,42	25,08	0,410	0,820	99,180
Vegetação	0,00	0,08	98,56	17,20	31,13	13,650	1,440	98,560
Aluvião	0,00	0,74	1,44	82,38	20,83	2,770	17,620	82,380
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00			

TABELA 3.19 – Resultados da avaliação da classificação.

Cena: XS-170703	
Classificador: Distância Mínima	
Acurácia global:	95,07%
Índice kappa:	0,93
Acurácia do aluvião:	82,38%

Os parâmetros de avaliação desta classificação encontram-se na Tabela 3.18, O cálculo da Matriz de Confusão foi realizado com o objetivo de avaliar a classificação como um todo e a classificação dos aluviões. No entanto essa matriz também foi usada para avaliar o classificador, por esta razão não foi aplicado nenhum procedimento de pós-classificação antes de ser calculado a Matriz de Confusão.

Em virtude do super-dimensionamento de alguns trechos de aluvião foi testado a cena XS-021002 com uma resolução espacial de 5 m, utilizando a mesma metodologia da cena XS-170703 para o pré-processamento e processamento da cena XS-021002. A única diferença foi a fusão da banda pancromática (5 m) com as outras banda multiespectrais (10 m) desta imagem para gerar outra imagem com resolução espacial melhor. Para essa imagem foram usados os dois métodos de classificação usados na imagem anterior, porém o método de classificação que se mostrou mais eficiente foi o da Distância mínima e para a classificação foi

utilizada a mesma metodologia da classificação da cena XS-170703. Nos processos de pós-classificação foi utilizado o agrupamento dos *pixels* e, em alguns locais, uma reclassificação para ajustar melhor algumas áreas que não foram bem classificadas. A Figura 3.47 mostra a classificação gerada a partir da imagem XS-021002. Nela podemos observar a identificação dos aluviões apenas nas áreas próximas à drenagem, sendo que a mistura de *pixels* nesta classificação foi relativamente baixa e é possível visualizar em alguns trechos aluviões de pequeno porte sem muita expressão. Porém, como os corpos aluvionares geralmente têm uma largura pequena em relação a sua extensão e às dimensões da bacia, muitos aluviões não são possíveis de serem visualizados em detalhes com um mapa deste tamanho, necessitando de visualizar pequenas áreas, mas com um nível de detalhamento melhor.

A Figura 3.48 mostra um detalhe de dois aluviões que estão a jusante de dois reservatórios nesta figura. Podemos perceber uma boa delimitação dos aluviões e sempre o corpo aluvionar acompanhando a drenagem. Um nível de detalhe maior deste mesmo local pode ser visto na Figura 3.49 em que observamos os dois reservatórios citados anteriormente e o mapeamento dos aluviões desta região.

A presença de grandes áreas de solo exposto é em virtude da época em que foi registrada a imagem, pois nesta época a vegetação rasteira (pasto) praticamente já desapareceu ou está seca, e em muitos casos a vegetação já foi removida para o plantio da nova safra.

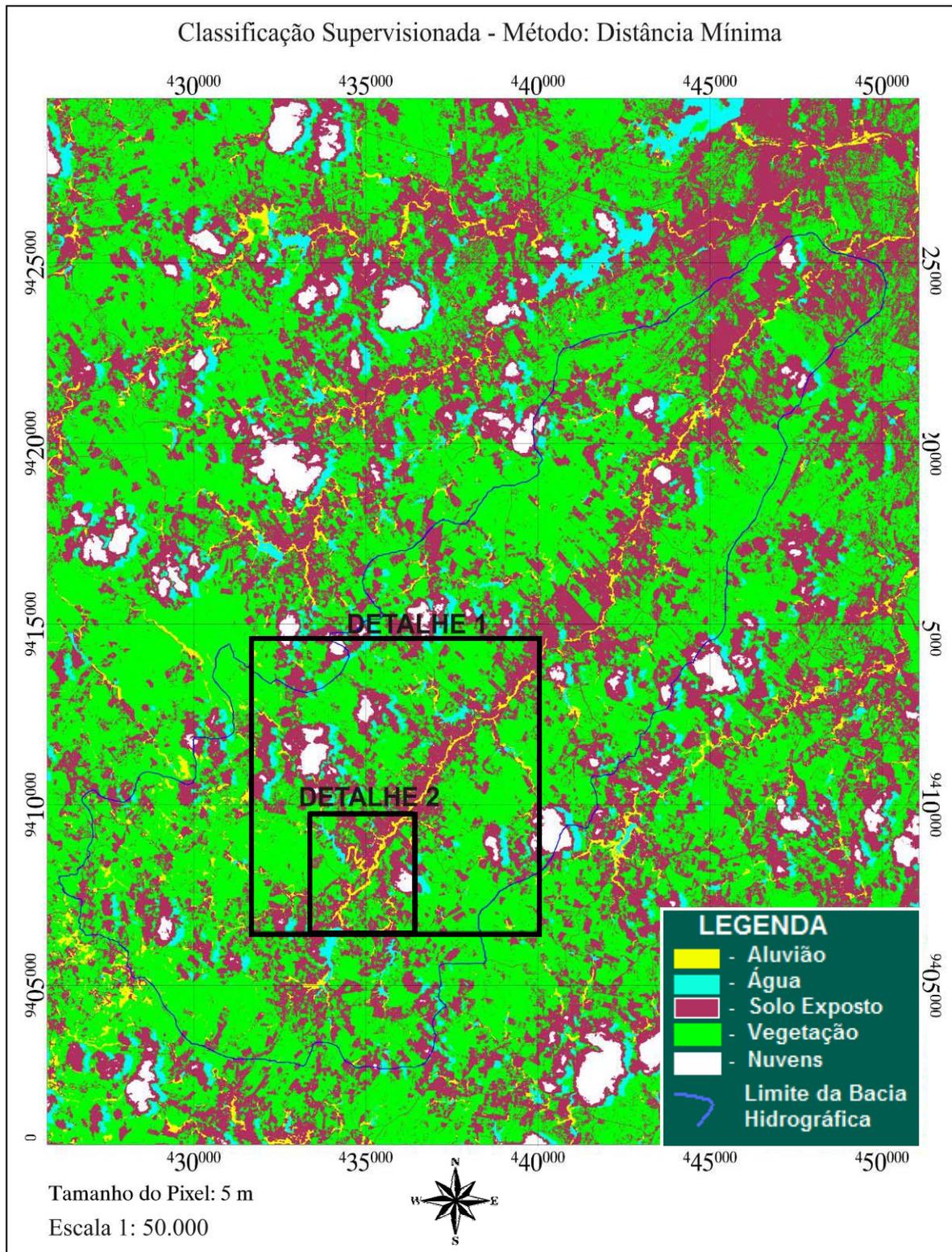


FIGURA 3.47 – Classificação imagem SPOT5 (5 m).

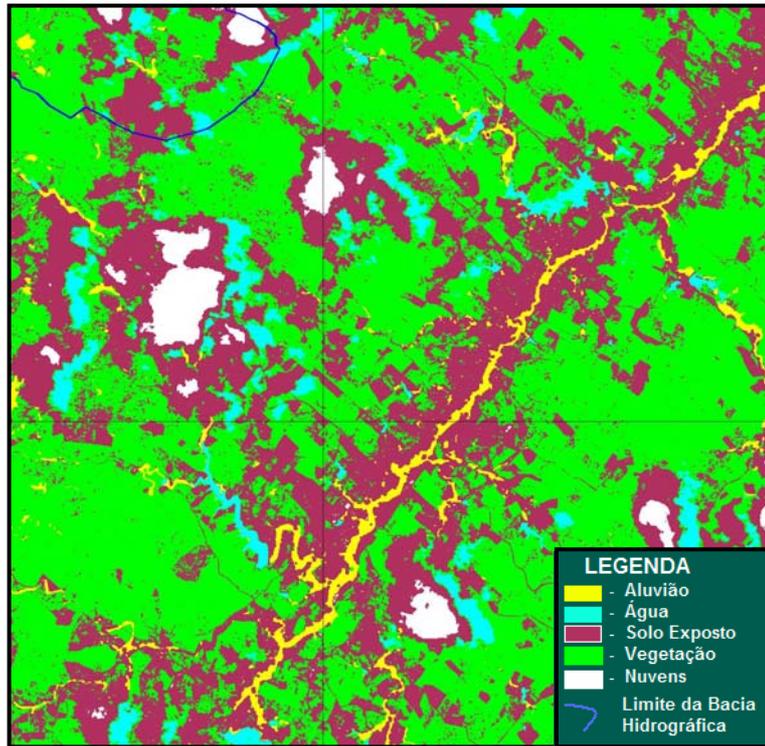


FIGURA 3.48. – Detalhe 1 do riacho Forquilha.

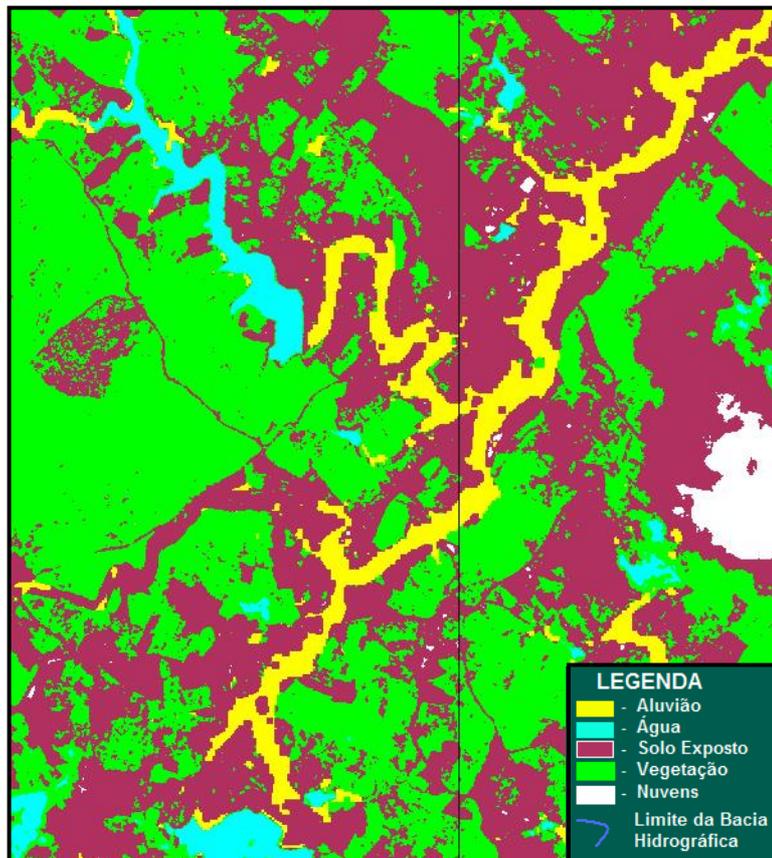


FIGURA 3.49 – Detalhe 2 do riacho Forquilha.

Para a avaliação da classificação destes aluviões foi usada a mesma metodologia já utilizada nas classificações anteriores, a Matriz de Confusão, a Acurácia Global, Índice Kappa e Acurácia do Aluvião, Para o cálculo desta matriz usaram-se verdades de campo, amostras coletadas na própria imagem a partir de análise visual deste alvo, porém para o aluvião foram escolhidas as amostras com base no mapa de aluvião traçado por Burte (2006). Os resultados podem ser consultados na Tabela 3.20. Analisando o Índice Kappa, verificamos uma excelente classificação de todos os usos do solo considerados, porém para a classe específica aluvião o valor de 88,37 dos *pixels* bem classificados ficou um pouco abaixo da Acurácia Global que foi de 97,48% (Tabela 3.21).

TABELA 3.20 - Resultados da classificação - imagem SPOT5 5 m.

Método – Distância mínima.

MATRIZ DE CONFUSÃO, ACURÁCIA GLOBAL E ÍNDICE KAPPA									
Classe	Água	solo exposto	nuvem	Vegetação	Aluvião	Total	Erro de inclusão (%)	Erro de omissão (%)	Pixels bem clas (%)
Água	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.68	0.00	0.00	100.00
Solo exposto	0.00	99.95	0.00	0.39	10.81	24.64	7.81	0.05	99.95
Nuvem	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	20.45	0.00	0.00	100.00
Vegetação	0.00	0.01	0.00	99.61	0.82	23.24	0.60	0.39	99.61
Aluvião	0.00	0.04	0.00	0.00	88.37	14.99	0.07	11.63	88.37
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00			

TABELA 3.21 - Resultados da avaliação da classificação.

Cena: XS-021002	
Classificador: Distância Mínima	
Acurácia global:	97,48%
índice kappa:	0,97
Acurácia do aluvião:	88.37

Uma visão tridimensional da bacia do Riacho Forquilha junto com o mapa de aluviões gerados a partir da imagem SPOT, Modelo Digital do Terreno (MDT) e da classificação automática do aluviões vetorizada são apresentados na Figura 3.50.

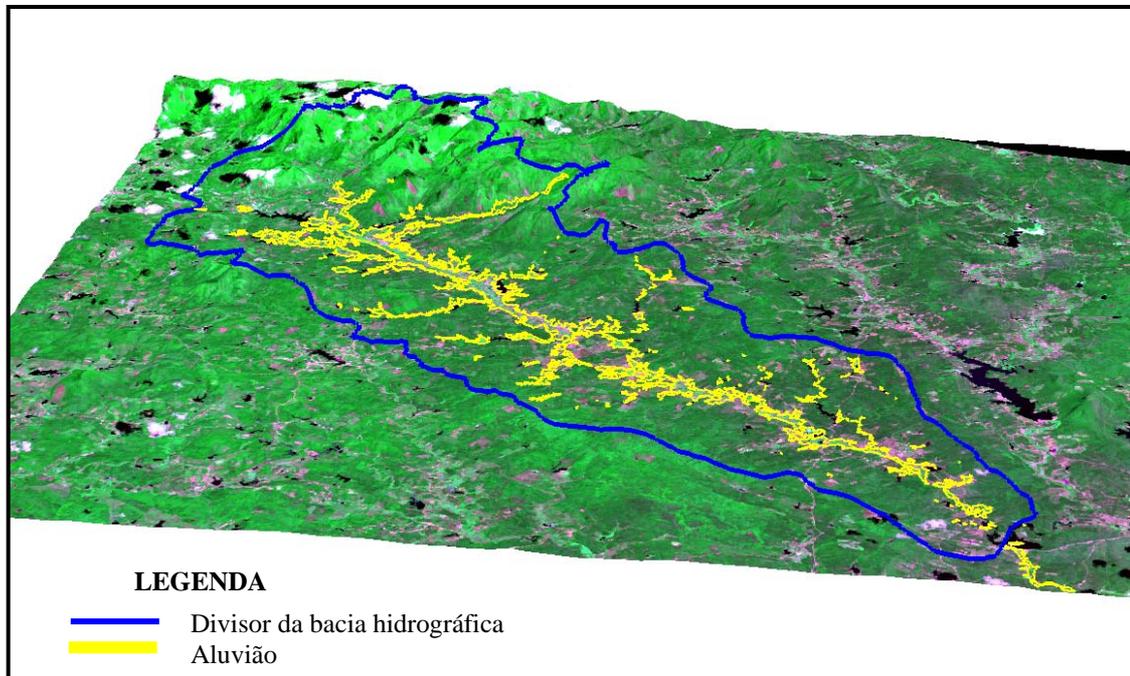


FIGURA 3.50 – Mapa dos aluviões em 3D da Bacia do Riacho Forquilha.

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS AQÜÍFEROS ALUVIONARES

4 - AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS AQÜÍFEROS ALUVIONARES

4.1 - Introdução

Os depósitos aluvionares, até então aqui vistos somente como um ente geológicos, constituem-se em reservatórios naturais de armazenamento, e cedência ao longo do tempo, das águas oriundas da precipitação. Esta propriedade confere a estes depósitos o status de aquíferos.

O potencial hidrogeológico de um aquífero traduz não só o quando de água é armazenada e está disponível pela unidade aquífera, em termos de reservas, mas a sua importância dentro do contexto de uso e preservação dos recursos hídricos de uma região. Avaliar o potencial hidrogeológico envolve avaliações quantitativas e qualitativas, tanto do meio aquífero, como da própria água subterrânea.

Neste capítulo será focado o potencial hidrogeológico dos aquíferos aluvionares na região do projeto. Inicialmente serão apresentados alguns conceitos e conhecimentos da área de hidrogeologia, para dar subsídio ao entendimento dos trabalhos realizados.

4.2 - Aspectos Teóricos

As águas meteóricas que se infiltram no subsolo, e formam reservatórios passíveis de serem explorados pelo homem, são denominadas de águas subterrâneas. O meio geológico por onde as águas subterrâneas circulam e/ou ficam armazenadas é denominado de aquífero.

Pode-se classificar os aquíferos quanto a natureza dos meios onde as águas circulam ou quanto as condições de pressão a que são submetidas as águas. Considerando-se os tipos de poros, tem-se:

- Aquíferos intersticiais: a percolação da água se dá por poros intergranulares. A razão volume de poros/volume total da rocha é denominada de porosidade. Característico de rochas sedimentares. Quando se considera somente o volume de poros realmente interligados entre si, esta razão é denominada de porosidade efetiva ou permeabilidade;
- Aquíferos fissurais: quando a percolação se dá somente pelas discontinuidades físicas da rocha, denominadas fraturas ou fissuras (porosidade secundária). A "permeabilidade" do meio é avaliada pela interligação das fraturas. Característico de rochas ígneas e metamórficas.

- Aqüífero de dupla porosidade ou cárstico: quando a percolação da água subterrânea se dá tanto pela matriz porosa como pelas fraturas ou fendas de dissolução. Característico de rochas calcáreas (sedimentos precipitados quimicamente).

Quanto a pressão hidrostática, os aqüíferos podem ser classificados em:

- Aqüíferos confinados: são aqueles onde a água subterrânea, em qualquer ponto, esta submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica. Sempre ocorre uma camada litológica sobreposta, confinando o aqüífero;
- Aqüíferos semi-confinado: a pressão a qual as águas estão submetidas ainda é maior que a atmosférica, mas a camada "confinante" é permeável a ponto de permitir o intercambio da águas com aqüíferos adjacentes;
- Aqüíferos Livres (ou freáticos): são aqueles onde o limite superior de saturação está em contato com o ar e, conseqüentemente, submetido a pressão atmosférica.

Um meio de estimar o potencial de um aqüífero é calculando os parâmetros hidráulicos característicos do mesmo. Dentre os principais parâmetros, podemos destacar:

- Porosidade efetiva (ou eficaz): corresponde a percentagem do volume total de uma formação geológica que é ocupada por poros interligados, e através dos quais podem estabelecer um fluxo de água. É adimensional.
- Transmissividade Hidráulica (T): representa a capacidade de transmissão de água de um aqüífero. Quando estimada por unidade de espessura do aqüífero, denomina-se Condutividade Hidráulica (K).
- Coeficiente de Armazenamento (S): expressa a quantidade de água que pode ser armazenada ou liberada pelo aqüífero. Em aqüíferos livres, na prática, considera-se a porosidade efetiva como representativa dessa grandeza.

4.2.1 - Síntese da hidrogeologia do Estado do Ceará

O conhecimento hidrogeológico no Estado do Ceará ainda é muito reduzido (PERH-CE, 2005), limitando assim a capacidade de avaliação do potencial dos aqüíferos e a adoção de medidas que possibilitam o uso de maneira racional deste recurso.

O estado do Ceará apresenta seis grandes domínios hidrogeológicos, como é apresentado na Figura 4.01. Cinco deles são constituídos por sistemas aqüíferos sedimentares intersticiais e somente um, o de maior extensão areal no Estado, é do

tipo fissural. A seguir é feita uma breve descrição sobre estes domínios e o seu potencial hidrogeológico.



Figura 4.01 – Principais domínios hidrogeológicos do Ceará.

Os aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe, localizam-se na Chapada do Araripe e no Vale do Cariri, no Sul do Estado do Ceará. As principais unidades aquíferas são constituídos pelos sedimentos da Formação Exu (topo da Chapada) e das Formações Rio da Batateira (aflorante no Vale), Mauriti e Missão Velha. Este sistema conta com um bom potencial hidrogeológico, com uma vazão média dos seus poços da ordem de 6,10 m³/h.

Os aquíferos da Bacia Sedimentar Potiguar, que no Ceará formam a Chapada do Apodi, localizados a Leste do Estado, são considerados os de maior potencial hidrogeológico. Poços explotando a Formação Cárstica do Jandaíra atingem, em sua maioria, vazões superiores a 10 m³/h. O aquífero da Formação Açu, ainda pouco

explorado no Ceará, apresenta poços com vazões superiores a 80 m³/h (média de exploração no Rio Grande do Norte) . O desenvolvimento de empreendimentos agrícolas, principalmente da fruticultura, tem sido grande nos últimos anos.

Na região costeira, ao norte do Estado, ocorrem os aquíferos formados pelo Grupo Barreiras e os sedimentos litorâneos recentes (praias e Dunas). Os poços que exploram os sedimentos costeiros apresentam, em média, vazões em torno de 5 m³/h. O grande problema com estes aquíferos está relacionado com a exploração desordenada, que tem acarretado sérios problemas de contaminação, inclusive o de salinização advindo do avanço da cunha salina.

O aquífero da Bacia Sedimentar do Parnaíba está restrito aos arenitos mais ou menos arcólios do Grupo Serra Grande, que formam a Chapada da Ibiapaba, zona oeste do Estado. A vazão média dos poços, aí construídos, é de 4,2 m³/h.

A Bacia de Iguatu, única bacia sedimentar interior do Ceará, ocorrem em estreitas faixas formando um grupo de pequenas bacias isoladas, localizadas próximo à confluência do rio Salgado com o rio Jaguaribe. Os aquíferos são formados pelos arenitos do Grupo Rio do Peixe e a vazão média dos poços é na ordem de 7 m³/h. (IBGE, 1999).

Por fim, Tem-se a ocorrência das rochas cristalinas (ígneas e metamórficas), que constituem o domínio dos aquíferos fissurais e perfazem, aproximadamente, 75% da superfície do Estado. Além das baixas vazões de seus poços (normalmente com vazões inferiores a 5 m³/h), apresentam problemas com relação as suas águas, frequentemente salobras.

Apesar de não se individualizar como um grande domínio hidrogeológico, os depósitos aluvionares junto aos grandes rios (Jaguaribe, Banabuiu, Coreaú e Acarau, dentre outros) são aquíferos expressivos. Podem ocorrer formando faixas de até 10 km de largura e 25 m de espessura (Baixo Jaguaribe). As vazões de produção dos poços nessas áreas, em regime contínuo de bombeamento, são da ordem de 50 m³/h/poço.

4.2.2 - Reservas hídricas subterrâneas

A análise do potencial hidrogeológico dos sistemas aquíferos, no domínio dos terrenos sedimentares, é feito com base nas suas extensões superficiais, espessuras saturadas, características hidráulicas e recargas. A seguir são apresentadas as principais definições e formas de estimar as reservas permanentes, reservas temporais e reservas exploráveis para a estimativa das disponibilidades hídricas dos aquíferos aluvionares. Este texto baseia-se nos estudos

realizados por Costa (1995 e 1997, in Feitosa e Manoel F^o) sobre avaliação de reservas, potencialidades e disponibilidades de aquíferos.

4.2.2.1 -Reservas permanentes ou disponíveis

Correspondem à soma dos volumes hídricos acumulado nas zonas saturadas localizadas abaixo da posição mínima do nível de oscilação sazonal nos aquíferos livres (reservas de saturação) e os volumes armazenados sob pressão nos aquíferos confinados. A estimativa das reservas esta justamente no cálculo dos volumes armazenados sob pressão e de saturação.

O volume armazenado sob pressão pode ser avaliado conforme mostrado a seguir:

$$V_p = A_p h S \quad (4.01)$$

onde:

- V_p = volume de água sob pressão [L³]
- S = coeficiente de armazenamento
- A_p = área de confinamento do aquífero [L²]
- h = carga hidráulica média acima da base da camada confinante [L]

Os aluviões se caracterizam por serem aquíferos intersticiais e, portanto, o armazenamento se dá por saturação natural dos poros. O volume de saturação, que é a água que permanece saturando o meio poroso, uma vez extraída toda a água armazenada sob pressão e deduzida a parcela retida entre os grãos, por forças de adsorção. Pode ser avaliado como:

$$V_s = Ab\eta_e \quad (4.02)$$

onde:

- A = área de ocorrência do aquífero [L²]
- b = espessura média saturada do aquífero [L]
- η_e = porosidade efetiva

Assim, as reservas permanentes (R_p) são dadas por:

$$\text{Aquífero Livre: } R_p = V_s$$

$$\text{Aquífero Confinado: } R_p = V_s + V_p$$

4.2.2.2 -Reservas temporárias (reguladoras ou renováveis)

As reservas temporárias equivalem aos volumes d'água periodicamente renovadas, que são variáveis de ano para ano, em decorrência dos aportes sazonais. Correspondem as vazões de escoamento natural dos aquíferos e que podem ser exploradas em sua totalidade, sem que haja comprometimento do sistema como um todo.

Uma metodologias utilizadas para o cálculo das reservas renováveis é o da vazão de escoamento natural do aquífero, que é dada em função do coeficiente de transmissividade hidráulica (K), do gradiente hidráulico de escoamento e do comprimento da frente de escoamento considerada.

A equação da Vazão de Escoamento Natural - VEN que pode, em condições de equilíbrio natural, ser definida como o volume de infiltração efetiva anual, ou seja, a recarga anual do aquífero (reserva reguladora), é dada por:

$$VEN = T i L \quad (4.03)$$

onde:

T = transmissividade hidráulica do aquífero [L^2T^{-1}]

i = gradiente hidráulico do escoamento

L = comprimento da frente de escoamento considerada [L]

A Transmissividade Hidráulica (T) é estimada a partir de testes de bombeamento; o valor do gradiente hidráulico i é extraído a partir da diferença entre duas curvas potenciométricas (mapa de potencimetria) e o comprimento da frente de escoamento (L) é medido diretamente desse mapa.

Em caso de aquíferos livres pouco profundos, outra metodologia é através da medição do nível mais elevado e do nível mais baixo da superfície potenciométrica. Nesse caso, o valor da Vazão de Escoamento Natural é dado por:

$$VEN = A\Delta h\eta_e \quad (4.04)$$

onde:

A = área de ocorrência do aquífero [L^2]

Δh = variação do nível d'água [L]

η_e = porosidade efetiva

O valor de Δh é obtido através de medições sistemáticas (mensais) do nível d'água nos poços durante o ano hidrológico, a porosidade efetiva é obtida em ensaio de bombeamento utilizando poço de observação e a área é medida no mapa. No caso de não serem conhecidos os valores de Δh , nem haver sido efetuado ensaio de bombeamento, o cálculo da reserva reguladora (R_r) pode ser efetuado a partir do conhecimento do **índice de armazenamento**.

O índice de armazenamento, também conhecido como variação da reserva unitária - ΔR (ou volume de água estocada), é igual à porosidade efetiva η_e ou, ao coeficiente de armazenamento S , multiplicado pela variação de nível Δh :

$$\Delta R = \Delta h S \quad (4.05)$$

Se Δh é a amplitude da variação entre os níveis da superfície potenciométrica média, o volume de rocha drenada é igual a:

$$V_s = \Delta h A \quad (4.06)$$

e a reserva aquífera reguladora R_r :

$$R_r = \Delta h AS \quad (4.07)$$

Para calcular a reserva reguladora (R_r), quando se desconhecem os valores de Δh e S , procura-se avaliar o valor de ΔR - índice de armazenamento, pois, de acordo com a expressão (14.5), pode-se dizer que:

$$R_r = \Delta R A \quad (4.08)$$

Um método para avaliar o valor de ΔR é realizando o balanço hídrico da região.

• **Cálculo do Índice de Armazenamento pelo Balanço Hídrico** - de acordo com Roslonki (*in* Castany, 1967) podemos, por um período determinado, escrever a equação do balanço sob a forma seguinte:

$$P - Q = \mu.E \pm \Delta R \quad (4.09)$$

onde:

P = altura da precipitação, em mm, para o período escolhido

- Q = lâmina d'água escoada, em mm
 E = lâmina d'água evapotranspirada, em mm
 μ = fator de correção para obtenção da evapotranspiração real
 ΔR = variação da reserva em mm de altura d'água, correspondendo a duas posições da superfície piezométrica

Como os valores de P , Q e E podem ser medidos com relativa precisão, utilizando-se o valor tabelado de μ chega-se ao cálculo de ΔR . Como o valor de A na expressão (4.08) é facilmente medido no mapa, calcula-se o valor de R_r .

4.2.2.3 -Reservas explotáveis

As estimativas das reservas explotáveis de uma unidade hidrogeológica levam em conta o cuidado na preservação do recursos hídrico subterrâneo. Considera-se que o máximo do potencial explotável é representado pelas reservas temporárias (renováveis), mais uma parcela das reservas permanentes, cujo uso não traga risco de esgotamento do aquífero.

As reservas explotáveis, também chamadas de recursos potenciais, são estimadas em 20% a 30 % das reservas permanentes, a serem utilizadas ao longo de um intervalo de 50 anos, o que equivale ao uso à uma taxa de 0,4% a 0,6% a.a. dos volumes totais armazenados. Uma exceção é feita para as reservas explotáveis dos aluviões, onde se admite, como recursos utilizáveis anualmente, uma taxa de 20% das reservas de saturação.

Considerando as reservas aquíferas sob o ponto de vista de oferta d'água para atendimento à demanda dos vários tipos de uso a que a água se destina, bem como, ainda, a necessidade de integração das avaliações dos recursos hídricos subterrâneos com os superficiais, dois outros termos costumam ser empregados, também sujeitos a muitas discussões e controvérsias: potencialidade e disponibilidade.

Potencialidade - é definida como o volume de água utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem explotadas, em descarga constante, durante um determinado período de tempo.

O conceito de potencialidade exprimindo um volume extraído em relação ao tempo (considerando um período de um ano hidrológico) se coaduna perfeitamente com aquele empregado para as águas de superfície, permitindo assim, ao gestor dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, unidade de planejamento

considerada na legislação brasileira, somar a potencialidade de águas superficiais à de águas subterrâneas.

Disponibilidade - significa o volume que pode ser extraído, sem risco de exaustão do aquífero, podendo contemplar uma terminologia diversificada em função da capacidade do aquífero e das obras de captação. Assim, podem ser distinguidos os seguintes termos:

- **Disponibilidade real** (ou virtual): também conhecida como recurso explotável é a parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do aquífero ou do sistema aquífero, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem. Os efeitos indesejáveis são aqueles expressos em Custódio & Llamas (1983).
- **Disponibilidade instalada**: corresponde ao volume máximo que se pode obter das obras de captação já existentes, operando no seu limite máximo de exploração permissível, e em regime de 24/24 horas.
- **Disponibilidade efetiva** (ou usual): é representada pelo volume que vem sendo retirado nas obras de captação já instaladas, com vazões aquém do seu limite explotável individual e em regime inferior a 24/24 horas.

Pelo acima exposto, verifica-se que a disponibilidade efetiva é sempre inferior à disponibilidade instalada, e, na maioria dos casos, ambas são inferiores à disponibilidade real, salvo nos casos de super-exploração do aquífero, com acentuada depleção da reserva permanente.

4.2.2.4 -Reservas aquíferas do Ceará

As Tabelas 4.01 e 4.02 apresentam as reservas hídricas subterrâneas e seu potencial de aproveitamento das áreas sedimentares do Estado do Ceará (ABAS, 2003).

Tabela 4.01 – Reservas Hídricas Subterrâneas das áreas sedimentares do Estado do Ceará (fonte: ABAS, 2003).

Região	Aquífero	Área (Km ²)	Reservas		
			Temporárias (x 10 ⁶ m ³ /ano)	Permanentes (x 10 ⁶ m ³ /ano)	Exploráveis (x 10 ⁶ m ³ /ano)
B. do Araripe (A=9.500 Km ²)	Feira Nova (Chapada)	7.500	115	7.500	30
	Missão Velha (Vale)	1.200			
	Mauriti (Vale)	2.000			
Chapada do Apodi (A=3.300 Km ²)	Barreiras/Aluviões	3.000	60	24.000	96
	Jandaíra				
	Açu (livre)	900			
	Açu (confinado)	2.400			
				2.900	11,6

(continua)

(continuação)

Região	Aqüífero	Área (Km ²)	Reservas		
			Temporárias (x 10 ⁶ m ³ /ano)	Permanentes (x 10 ⁶ m ³ /ano)	Exploráveis (x 10 ⁶ m ³ /ano)
Vale do Jaguaribe	Aluviões	410		180	36
Vale do Coreaú	Aluviões	10		2	0,4
Faixa Litorânea	Barreiras	13.000		6.500	26
Chapada do Apodi (A=3.300 Km ²)	Barreiras/Aluviões	3.000		150	0,6
	Aluviões	30		12	2,4
B. do Parnaíba	Serra Grande	8.500		50	0,2

Tabela 4.01 – Potencial de Aproveitamento das Águas Subterrâneas das áreas sedimentares do Estado do Ceará (fonte: ABAS, 2003).

Região	Principais Municípios	Profundidade dos Poços Tubulares (m)	Capacidade de Produção dos poços (m ³ /h)	Custos dos Poços (R\$)	População Beneficiada (nº de hab.)
Faixa Sedimentar Litorânea	Icapui, Aracati, Beberibe, Cascavel, Pacajus, Pacatuba, Aquiraz, Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Paracuru, Paraipaba, Trairi, Itarema, Acaraú, Marco, Bela Cruz, Cruz, Granja, Camocim, Chaval e Martinópolis	50-150	5-50	37.000,00 110.000,00	821.637
Chapada do Apodi e Aluvião do Rio Jaguaribe	Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Quixerá, Aguaruama, Itaiçaba, Morada Nova, São João do Jaguaribe, Alto Santo	Chapada: 80-600 Aluvião: 10-20	3-150 < 50	59.000,00 900.000,00 12.000,00 25.000,00	232.407
Bacia do Araripe (Vale do Cariri)	Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha, Missão Velha, Milagres, Barro, Mauriti, Brejo Santo, Jati, Pena Forte, Porteiras, Jardim, Santana do Cariri, Nova Olinda, Araripe, Potengi e Campo Sales	140-750	60-100	119.000,00 1.350.000,00	605.697
Bacia do Parnaíba (Serra da Ibiapaba)	Viçosa do Ceará, Tianguá, Ibiapina, São Benedito, Carnaubal, Guaraciaba do Norte, Poranga, Ipueriras, Ipu e frecheirinha.	60-85	5	44.000,00 73.000,00	

4.3 - Materiais e Métodos

A análise hidrogeológica dos aqüíferos aluvionares da Folha de Itapiúna foi desenvolvida a partir de uma série de atividades de campo que, após tratamento e análise em escritório, permitiram a avaliação preliminar do potencial hidrogeológicos desses aqüíferos.

Foram aplicados tanto técnicas convencionais para a paremetrização geométrica e hidrodinâmica dos aqüíferos, como técnicas de processamento de dados de modelos digitais de terreno no tratamento da rede de drenagem.

Os equipamentos e materiais utilizados nesta etapa serão descritos durante a apresentação de cada fase, para o melhor entendimento de suas aplicações.

4.3.1 - Sinopse metodológica

Esta etapa envolveu quatro fases, desenvolvidas de forma sistematizada e conjunta. São elas:

- Trabalhos preliminares: incluindo a geração de uma rede de drenagem a partir do modelo numérico de terreno (reamostrado) do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA;
- Trabalhos de campo: levantamentos das características geométricas e hidráulicas dos aluviões da área de pesquisa;
- Tratamento dos dados: tabulação, análise de consistência e Tratamento dos dados dos perfis das sondagens e dos dados dos ensaios de permeabilidade e,
- Análise dos resultados e classificações possíveis.

A seguir é apresentado, de forma detalhada, todos os procedimentos e materiais utilizados nestas fases.

4.4 - Trabalhos Preliminares

O mapeamento dos aluviões, através do tratamento e análise das imagens de satélite (ASTER e LANDSAT), mostrou-se problemático no tocante a identificação dos corpos menores. Mesmo assim, ficou claro que a rede de drenagem associada era mais densa que a apresentada na carta da SUDENE (escala 1:100.000).

Optou-se então por buscar este detalhamento maior da rede de drenagem através de um modelo digital do terreno (MDT). A única informação necessária para a definição da rede de drenagem e a delimitação das bacias é um MDT confiável. A partir desse MDT foram geradas informações intermediárias como direção do fluxo e fluxo acumulado que serviram como insumos para o traçado da rede e das bacias. Para a definição da direção que o fluxo deveria seguir em cada célula é utilizado o método D-8, que é baseado na maior declividade entre a célula em análise e suas 8 (oito) células vizinhas (MAIDMENT e DJOKIC, 2000).

A partir da direção do fluxo foi possível definir, para qualquer célula, qual foi o fluxo acumulado. O fluxo acumulado representa a quantidade de células que drenam até aquele ponto e com base nele é possível definir um limiar a partir do qual se considera a existência da rede de drenagem de uma bacia, definindo dessa maneira o percurso dos principais rios.

Assim, com base nas imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), um projeto conjunto entre a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), foi obtido o Modelo Digital

do Terreno com acurácia de 90 m. Posteriormente foi reamostrado para 25 metros e, utilizando o programa ArcView 9.0 (módulo ArcHidro), gerou-se uma rede de drenagem de forma automática. Esta nova rede, além de captar maiores detalhes, corrigiu pequenos erros na drenagem impressa na carta da SUDENE (Figura 4.02).

Os elementos dessa rede de drenagem foram classificados, segundo o grau de ramificação, pelo método de Strashler (Tucci, 1993). Para cada trecho de drenagem assim classificado teve seu comprimento medido. Esta classificação norteou os trabalhos de campo. Foram selecionados pontos de amostragem de modo a contemplar, de forma significativa, todas as ordens classificadas.

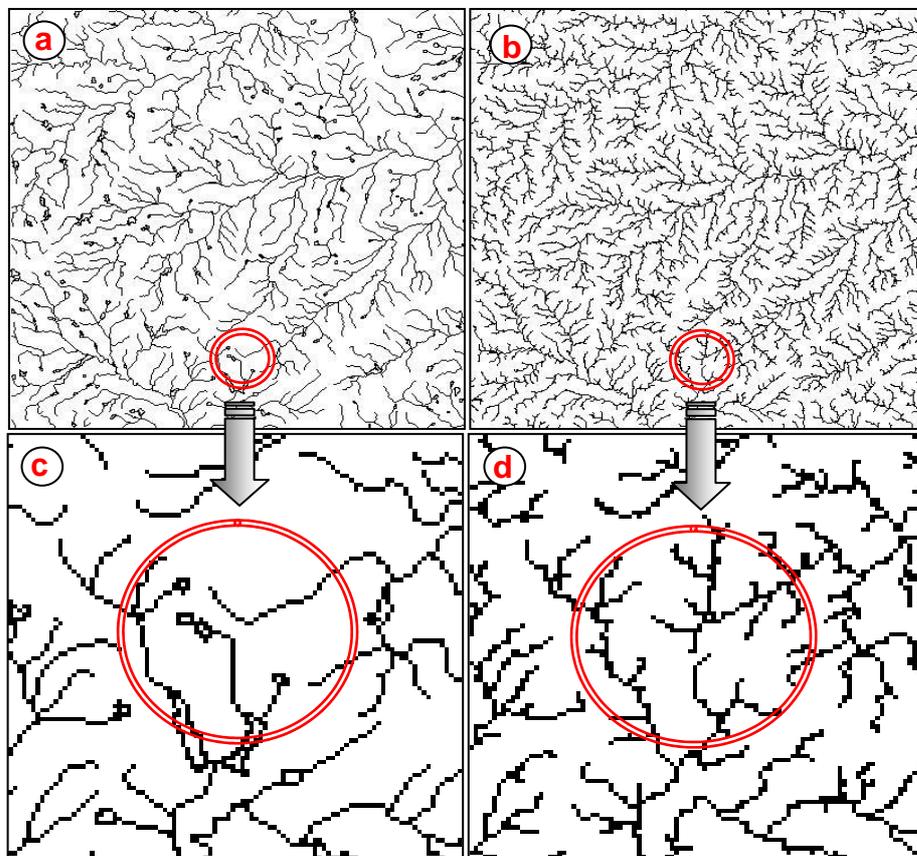


Figura 4.02 – (a): Drenagem SUDENE (1:100.000), (b): Drenagem gerada a partir do MNT, (c) e (d): Detalhes das respectivas drenagens, destacando-se diferenças de escoamento dos cursos.

4.5 - Trabalhos de Campo

Foram realizadas 11 (onze) campanhas, que resultaram em avaliação de 68 (sessenta e oito) seções. A Figura 4.03 mostra a distribuição espacial dos pontos amostrados em relação a classificação dos trechos da rede de drenagem.

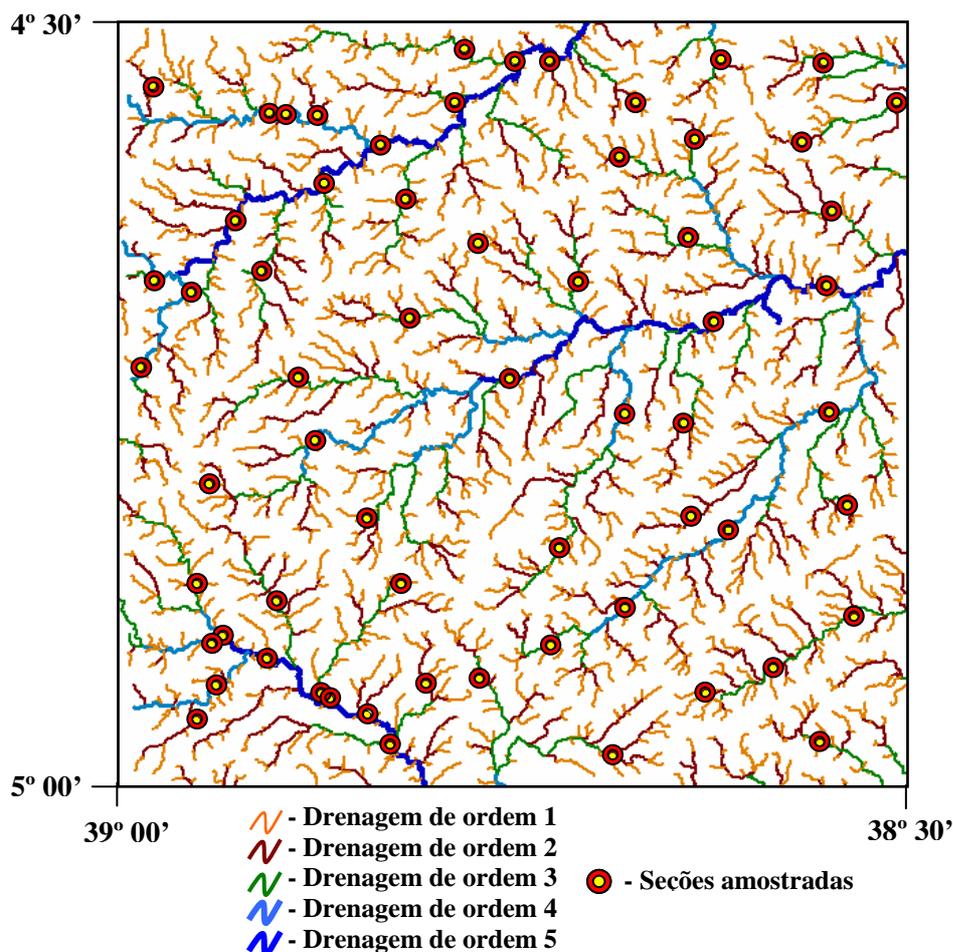


Figura 4.03 – Classificação da drenagem segundo Strahler & seções amostradas.

Os trabalhos de campo contemplaram tanto a caracterização dimensional, como a estimativa da condutividade hidráulica, das seções selecionadas. A seguir, é apresentado os aspectos metodológicos empregados nestes serviços.

4.5.1 - Medição das larguras dos aluviões e sondagens a trado

Os serviços de medições de seções transversais e de sondagens a trado foram desenvolvidos com o emprego dos seguintes equipamentos:

- Trena manual de 50 m & GPS;
- Conjunto de trados (hastes e copos), com autonomia de 15 m (Figura 4.04);
- Ponteira de aço galvanizado, com autonomia de até 12 m;
- Tubos de manobras (4")

Os principais elementos dimensionais levantados em campo foram à espessura do pacote sedimentar aluvionar e a largura da seção transversal dos mesmos. A

largura foi tomada diretamente com auxílio de uma trena. Para a determinação da espessura foram realizados furos de sondagens a trado, buscando sempre os locais com tendência a apresentarem as maiores espessuras.

Cada furo de sondagem a trado teve seu perfil litológico descrito. O material extraído do furo foi depositado de forma ordenada no solo para análise e descrição, sendo observadas as seguintes características: profundidade, granulometria, presença de finos ou de material mais grosseiro, cor, teor de umidade e, quando possível, composição provável e material de alteração. O mapa de localização e as fichas com as descrições de cada furo de sondagem encontram-se no ANEXO 01.



Figura 4.04 – Equipamento utilizados nos serviços de sondagens (hastes, copos, ponteira e tubos de manobra).

As sondagens á trado sempre buscaram atingir o embasamento cristalino, no caso, o rigolito. Algumas considerações se fazem necessário acerca dos trabalhos de sondagens:

- Em várias sondagens foram encontrados níveis de areia grossa saturada, que provocava o desmoronamento das paredes do furo sempre que se fazia a retirada do trado. Para tanto foi necessário, além do uso de tubos de manobras (revesti mento), o desenvolvimento de um copo que permitisse o retenção do material saturado. Este copo pode ser visto na Figura 4.04;
- Em alguns casos foram encontrados níveis arenosos com seixos e fragmentos, de expressão suficiente para que não pudessem ser extraídos pelo copo do trado (Figura 4.05). Nestes casos, a sondagem prosseguiu com o uso de uma ponteira de aço (1”), sem coleta de amostra. Isto ocorreu em aproximadamente 20% (13) dos furos realizados.



Figura 4.05 – Fragmentos e seixos que impediam o avanço das sondagens.

- É sabido que nas planícies aluviais do sertão cearense existem níveis argilosos extremamente compactos (chamados "salão"). Na área da pesquisa foram vistos alguns afloramentos. Há a possibilidade de que, em algumas sondagens, tenha ocorrido a presença de tais camadas e tenham sido confundidas com embasamento cristalino.

Foram observadas variações consideráveis nos perfis descritos, principalmente em função da ordem de grandeza da drenagem associada. Mas, de uma maneira geral, podendo-se considerar, como padrão para os aluviões de maior porte (4ª e 5ª ordem) da área estudada, uma seqüência de areias variando de média a fina nos níveis superiores, média nos níveis intermediários e média a grossa nos níveis mais profundos. A presença de níveis mais argilosos não obedeceu a um padrão perceptível, mas raramente foi encontrado níveis onde a argila predominasse.

As cores variam de claras nos primeiros níveis até a escuras nos níveis intermediários, dependendo dos teores de argila presentes, tornando-se novamente claras, por vezes avermelhadas, nos níveis mais profundos, principalmente quando da presença de areias mais grossas.

Os níveis saturados foram encontrados, em média, a 2,27 metros de profundidade. Deve ser ressaltado que estes valores são relativos a superfície do terreno, e foram coletados em um ano considerado acima da média em termos de chuva.

4.5.2 - Ensaios de permeabilidade "in situ"

Para a execução dos ensaios de permeabilidade em campo foram utilizados os seguintes materiais:

- Cronômetro & GPS;
- Aparelho medidor de níveis d'água em poço;
- Reservatórios de água.

Nas seções onde foram feitas as sondagens a trado também foram realizados ensaios de estimativa da condutividade hidráulica do meio. Por haver níveis mais ou menos permeáveis ao longo de um perfil vertical de um aluvião, e as sondagens exploraram pacotes de aluviões das mais variadas espessuras, optou-se por realizar os ensaios sempre a uma mesma profundidade (1m), buscando assim uma padronização na amostragem.

O método empregado foi o de Pourche, também conhecido por "método do poço invertido", que é empregado em solos sem a presença do lençol freático. A técnica consiste em abrir um furo á trado e, após saturar a espessura a ser analisada, medir a relação tempo x rebaixamento após o enchimento do furo com água. O ensaio deve ser repetido, no mínimo, por três vezes. O aparelho medidor (Figura 4.06) foi confeccionado segundo as orientações apresentadas no Manual de Ensaios de Laboratório e Campo para Irrigação e Drenagem (Cauduro & Dorfman, 1988).

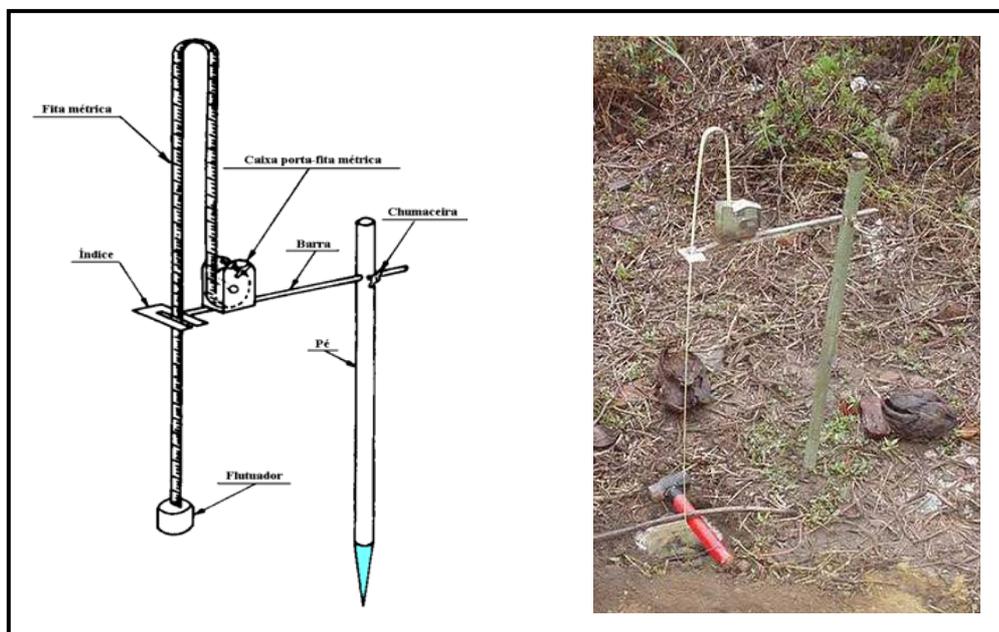


Figura 4.06 – Desenho esquemático e foto do medidor de nível d'água.

O ensaio deve ser repetido, no mínimo, por três vezes. Os dados devem ser plotados em um gráfico monolog $(h_i + r/2) \times t$. A Figura 4.07 mostra as variáveis envolvidas e a imagem de um ensaio sendo desenvolvido no campo.

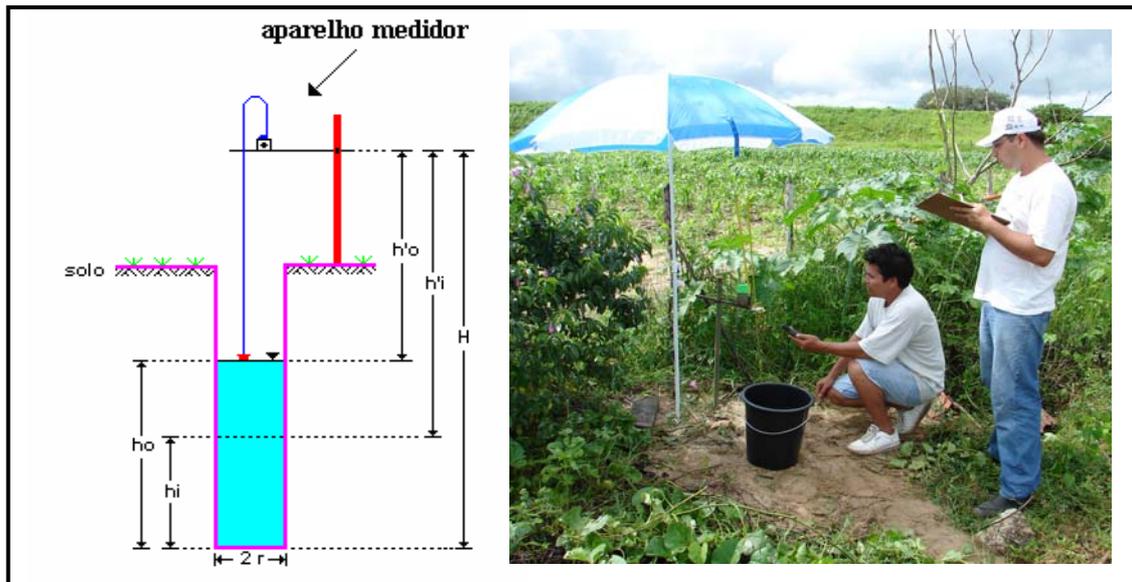


Figura 4.07 – Variáveis envolvidas na estimativa da permeabilidade e ensaio em andamento no campo.

Assim, a condutividade hidráulica pode ser obtida através da equação:

$$K = 1,15r \frac{\log(h_i(1) + r/2) - \log(h_i(2) + r/2)}{t_i(2) - t_i(1)} \quad (4.10)$$

onde:

- K = condutividade hidráulica (m/dia);
- R = raio do poço (cm);
- $h_i(1) + r/2$ = altura correspondente a um dado ponto da reta interpolatriz (cm);
- $h_i(2) + r/2$ = altura correspondente a um segundo ponto da reta interpolatriz (cm)
- $t_i(1)$ e $t_i(2)$ = tempos correspondentes a primeira e segunda leituras de níveis na reta (cm)

As fichas com os dados dos ensaios de campo, com os respectivos gráficos e resultados (valores de K), além do mapa de localização das seções, encontram-se no ANEXO 02.

4.6 - Análise dos Dados

4.6.1 - Aspectos dimensionais das redes de drenagens

A Tabela 4.03 apresenta um resumo dos valores característicos dos trechos de drenagem, ordenados segundo Strahler, obtidos a partir da análise do modelo digital do terreno (MDT).

Tabela 4.03 – Resumo dos valores característicos dos trechos de drenagem da área (Classificação segundo Strahler).

Valores Característicos	Ordem dos Canais (Segundo Strahler)				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Nº de trechos	1491	358	76	15	3
Menor trecho (m)	103,03	106,06	247,49	1.101,41	23.129,54
Maior trecho (m)	5.270,37	12.522,54	20.753,78	42.477,11	49.726,19
Soma total dos	1.570.836,08	748.573,69	457.899,08	167.034,87	115.971,81
Valor médio (m)	1.053,54	2.085,16	6.024,99	11.135,66	38.657,27
Desvio padrão (m)	796,89	1.841,91	4.533,48	11.296,34	13.847,61

Mesmo não utilizando as bacias hidrográficas como a unidade principal de trabalho (somente o rio Pirangi apresenta suas cabeceiras totalmente inserida na área do projeto), usou-se alguns elementos de estudos de bacia hidrográfica para análise física da rede de drenagem da área em estudo e, portanto, os resultados devem ser tomados com cautela.

Assim, para se ter uma idéia da densidade de drenagem (DD) da área, dividiu-se o comprimento total dos canais (3.060 km) pela área correspondente a Folha de Itapiúna (3.074 Km²). O valor obtido foi $DD \approx 1,0 \text{ km/Km}^2$, o que caracteriza uma densidade de drenagem muito baixa (STRAHLER, 1957), o que é tido como anômalo para regiões onde predomina a ocorrência de embasamento cristalino. A justificativa está no clima árido, que não favorece a instalação de um intemperismo químico. As chuvas são, normalmente, de baixa intensidade e ausentes em grande parte do ano. Segundo VILELLA & MATTOS (1975), a densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, pois uma baixa densidade de drenagem significa uma maior superfície de contribuição, fazendo com que o deflúvio demore mais para atingir os rios.

Outro elemento herdado da análise de bacias hidrográficas é a Razão de bifurcação (Rb). Esta expressão, também conhecida por "Lei do Número de Canais", foi proposta por HORTON (1932) e é definida como a relação entre o número de canais de uma dada ordem (n) e o número de canais de ordem imediatamente

superior (n+1. Aplicando-se este fator, não para uma bacia, mas para a área do projeto, tem-se os valores apresentados na Tabela 4.04.

Tabela 4.04 – Estimativa da razão de bifurcação (Rb) para a área como um todo.

Valores Característicos	Ordem dos Canais (Segundo Strahler)				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Nº de trechos	1491	358	76	15	3
Razão de Bifurcação - Rb		4,16	4,71	5,07	5,00
Rb médio	4,74				

Segundo Strahler (1964), a relação de bifurcação não será exatamente a mesma de uma ordem a outra, por causa das variações na geometria da bacia, mas tenderá a ser constante. Essa observação é baseada na *lei do número de canais* de Horton (1945), citado em Strahler (op cit.), ao afirmar que o número de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa com o número de ordem. A razão de bifurcação, segundo Strahler (op cit) varia normalmente entre 3,0 e 5,0. Já segundo Linsley *et al.* (1975), ela varia entre 2,0 e 4,0 com um valor médio próximo a 3,5. Observa-se que os valores calculados atendem o preconizado por Strahler. Segundo Borsato & Martoni (2004), valores altos do índice Rb devem ser esperados em regiões de vales rochosos, com um grande número de tributários de pequena extensão, e sugerindo bacias alongadas com hidrogramas apresentando o mesmo formato.

Também muito usado na análise da rede de drenagem de bacia hidrográfica é a chamada relação dos comprimentos (R_L), que é obtida pela razão da média dos comprimentos dos canais de uma determinada ordem pela média dos comprimentos dos rios de ordem imediatamente inferior (TUCCI, 2000). De acordo com Bras (1990), resultados empíricos indicam uma variação desse valor de 1,5 a 3,5 para as bacias naturais. A Tabela 4.05 apresenta os valores de R_L calculados para todas as drenagens da área da folha de Itapiúna.

Tabela 4.05 – Estimativa da razão de comprimento (R_L) para a área como um todo.

Valores Característicos	Ordem dos Canais (Segundo Strahler)				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Média dos comprimentos (m)	1.053,54	2.085,16	6.024,99	11.135,66	38.657,27
Razão de Comprimento - R_L		1,98	2,89	1,85	3,47
R_L médio	2,55				

4.6.2 - Aspectos dimensionais dos corpos aluvionares

Os aluviões da área do projeto encontram-se ao longo de, aproximadamente, 3.000 km de rios e riachos. A Tabela 4.06 mostra um resumo dos valores das características dimensionais dos aluviões, para os sessenta e oito pontos amostrados (vide Figura 4.02), associados aos trechos de drenagem (ordenados segundo Strahler).

Observa-se haver uma coerência nos valores médios, tanto da espessura como da largura, em relação à ordem das drenagens, uma vez que se esperam valores maiores nos trechos de maior ordem.

Tabela 4.06 – Valores das características dimensionais dos trechos amostrados dos aluviões.

Valores Característicos dos Aluviões	Ordem da Drenagem Associada (Segundo Strahler)				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Nº de seções amostradas	8	11	25	14	10
Espessura					
Menor espessura (m)	1,200	1,100	1,400	1,970	2,700
Maior espessura (m)	3,400	3,690	3,600	7,000	7,000
Valor médio (m)	2,035	2,123	2,323	3,222	4,844
Desvio padrão (m)	0,802	0,758	0,589	1,294	1,516
Largura					
Menor largura (m)	40,00	50,00	30,00	70,00	120,00
Maior largura (m)	120,00	200,00	200,00	160,00	260,00
Valor médio (m)	73,75	104,17	105,36	122,06	177,27
Desvio padrão (m)	33,77975	43,31876	46,94221	29,21145	38,7533

Os depósitos aluvionares associados as drenagens de 1ª ordem (Figura 4.08) sempre apresentaram espessuras pequenas, inferiores a 3,50 m. Os sedimentos que os compõem são predominantemente de granulometria média a fina (areias), e pouco silte e argila. Os canais dessa ordem são de comprimentos reduzidos, tendo em média 1,0 km, mas juntos perfazem mais de 1.500 Km. Considerando uma largura quase sempre inferior a 100 m, a maioria desses depósitos não são mapeáveis na escala 1:100.000.

Os aluviões associados as drenagens de 2ª ordem (Figura 4.09), que juntos perfazem quase 750 km de extensão, também apresentam espessuras pequenas, com 2,10 m em média. Estes canais dificilmente ultrapassam 2,0 km de comprimento. O tipo granulométrico mais expressivo são as areia média a finas. A



Figura 4.08 – Exemplos de aluviões associados a canais de 1ª ordem.



Figura 4.09 – Exemplos de aluviões associados a canais de 2ª ordem.

largura média das seções amostradas é de, aproximadamente, 100 m, o que já é significativo em termos de ambiente cristalino do semi-árido.

Já os depósitos aluvionares que ocorrem junto as drenagens de 3ª ordem (Figura 4.10) apresentaram também espessuras relativamente pequenas que, em média, não atingiram 2,50 m, mas nunca inferiores a 1,40 m. Apesar disso, a maioria das seções apresentaram níveis aquíferos bons, sempre na porção basal dos pacotes. Juntos, estes canais perfazem pouco mais de 450 Km. Individualmente apresentam uma média de 6 km, podendo atingir até 20 Km. Isto associado a largura, de média próximo a 100 m, confere a estes depósitos uma importância significativa no âmbito dos reservatórios hídricos subterrâneos.



Figura 4.10 – Exemplos de aluviões associados a canais de 3ª ordem.

Os aluviões associados a drenagens de 4ª ordem, que juntos medem aproximadamente 170 km, apresentam espessuras significativas, com valor médio de 3,2 m, mas podendo atingir até 7,0 m. As larguras são significativas, variando de 70 a 160 m nas seções visitadas. Rios importantes na região, como os rios Feijão, Castro e dos Macacos (Figura 4.11) enquadram-se nesta categoria.

Por fim, os aluviões associados as drenagens de 5ª ordem são os que apresentam os maiores comprimentos médios, superiores a 38 Km. Enquadram-se nesta categoria os rios Pirangi, Choro e Sitia. A espessura desses rios são significativas, com valores médios de quase 5,0 m, mas podendo atingir valores superiores a 7,0 m. As larguras raramente são inferiores a 100 m, podendo atingir valores até quase 300 m (Figura 4.12) .



Figura 4.11 – Exemplos de aluviões associados a canais de 4ª ordem.



Figura 4.12 – Exemplos de aluviões associados a canais de 5ª ordem.

Em termos de material constituinte dos depósitos aluvionares amostrados, notou-se que os perfis de sondagem mostram, quase sempre, certa gradação dos sedimentos, da base para o topo. Na porção inferior do pacote aluvial predominam sedimentos moderadamente selecionados, essencialmente arenosos, de textura média a grosseira, e com cascalho e pedregulhos geralmente dispersos na matriz arenosa. Por vezes Delgadas intercalações argilosas ocorrem mas não são freqüentes. Na porção mais superficiais ocorrem, com freqüência, sedimentos areno-argilosos, com granulação fina a média e bem selecionados.

4.6.3 - Aspectos hidráulicos dos aquíferos aluvionares

Com base nos dados colhidos durante os trabalhos de campo e apresentados no tópico anterior, pode-se afirmar que os depósitos aluvionares comportam-se como aquíferos livres, de espessuras relativamente pequenas e largas variáveis, assentados sobre um embasamento cristalino praticamente impermeável.

A Tabela 4.07 apresenta os valores característicos das condutividades hidráulicas (K) estimadas a partir dos ensaios de campo. Os dados e os valores por seção amostrada encontram-se no ANEXO 02. Como intervalo de valores da condutividade hidráulica usou-se os sugeridos pelo U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engeneering (in Cauduro & Dorfman, 1988 – Tabela 4.08). Os valores de K variaram de moderado a moderadamente rápida, classificação coerente com o tipo de material predominante nas camadas superficiais (até 1m) da maioria das sondagens realizadas. Apesar, do fluxo estudado ser predominantemente horizontal, observou-se, na fase preliminar dos ensaios (saturação do meio), uma velocidade de infiltração (fluxo vertical) alta.

Novamente, notou-se uma tendência de condições de permeabilidades melhores nos trechos de maior ordem. Apesar, da condutividade hidráulica ter sido calculada para as camadas mais superficiais, cabe lembrar que, quase que somente as seções aluviais das drenagens de mais alta ordem (4ª e 5ª ordem) apresentaram níveis mais profundos de permeabilidade muito elevada, constituídos de areias grossas e cascalhos limpos. A percentagem dessas zonas mais condutivas é, na grande maioria, inferior a 50% das profundidades verificadas nos furos de sondagens.

Tabela 4.07 – Valores característicos das condutividades hidráulicas estimadas nos trechos amostrados dos aluviões.

Valores Característicos das Condutividades Hidráulicas K (cm/h)	Ordem da Drenagem Associada (Segundo Strahler)				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Nº de trechos amostrados	8	11	25	14	10
Menor valor de K (cm/h)	7,16E-01	8,14E-01	7,34E-01	7,42E-01	3,87E+00
Maior valor de K (cm/h)	8,01E+00	1,45E+01	1,88E+01	1,34E+01	1,22E+01
Valor médio: K_{med} (cm/h)	5,62E+00	6,42E+00	8,46E+00	7,60E+00	8,61E+00
Desvio padrão	2,58E+00	4,31E+00	4,57E+00	3,48E+00	2,52E+00
Classe	M	MR	MR	MR	MR

Tabela 4.08 – Classes de condutividade hidráulica (U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engineering).

CLASSES	SIGLA	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA - K (cm/h)
1 - Muito Lenta	MLL	< 0,13
2 - Lenta	L	0,13 a 0,51
3 - Moderadamente Lenta	ML	0,51 a 2,00
4 - Moderada	M	2,00 a 6,30
5 - Moderadamente Rápida	MR	6,30 a 12,70
6 - Rápida	R	12,70 a 25,40
7 - Muito Rápida	MRR	> 25,40

Assim, pode-se inferir com base nos dados coletados que as drenagens de maior ordem são as que apresentam condições mais favoráveis, nos aspectos dimensionais e hidráulicos, do ponto de vista da hidrogeologia.

Considerando-se que os valores médios obtidos apresentaram valores na ordem de grandeza 10^{-3} (quando convertidos para cm/s), há uma coerência com os valores observados por diversos autores (Tabela 4.09) para o tipo do material (predominante Areias médias a finas) nos furos ensaiados. O mesmo ocorre quando comparamos estes valores com os obtidos por autores nacionais, em trabalhos realizados em aluviões em áreas do semi-árido nordestino (Tabela 4.10).

Tabela 4.09 - Valores de K (em cm/h) para alguns materiais, segundo vários autores (*in* Castany, 1963).

Material	Coefficiente permeabilidade - (cm/s) segundo diversos autores
Cascalhos, areias grossas	10^{-3} a 10^{-2}
Areias finas	10^{-3} a 10^{-4}
Siltes	10^{-4} a 10^{-6}
Argilas	10^{-6} a 10^{-9}
Argilas plásticas	10^{-9} a 10^{-10}

Tabela 4.10 - Valores de K (em cm/h) para aluviões em áreas do semi-árido nordestino, estimados por autores nacionais.

Autores/Trabalhos	Coefficiente permeabilidade (cm/s)
Leal et al. - <i>Trabalhos de pesquisa e estudos hidrogeológicos efetuados nas aluviões do Nordeste Oriental. Fase I</i> (1998)	10^{-3} a 10^0 cm/s,
Leal et al. - Avaliação hidrogeológica preliminar das aluviões do alto vale do rio Moxotó-PE (2000)	10^{-3} a 10^{-1} cm/s,
Leite et al. - Determinação dos parâmetros hidráulicos de um trecho aluvionar do rio palhano (2000)	10^{-4} a 10^{-3} cm/s
Carvalho Jr. et al. - Avaliação das perdas de água em trânsito em rios perenizados do semi-árido (2002)	10^{-4} a 10^{-3} cm/s

Um elemento importante na caracterização de um aquífero é o seu coeficiente de armazenamento. Em se tratando de um aquífero livre, o coeficiente de armazenamento se confunde com a porosidade efetiva. Sua estimativa pode ser feita em laboratório ou através da análise da distribuição granulométrica dos sedimentos que compõe a seção aquífera. Não foram realizados ensaios para a determinação desse parâmetro, mas pode-se estimar valores médios a partir do conhecimento dos tipos granulométricos dos furos de sondagens realizadas e comparação com os valores médios sugeridos e apresentados na literatura especializada.

A Tabela 4.11 apresenta intervalos de valores de porosidade eficaz para sedimentos inconsolidados, presentes nas sondagens, estimados por Johnson (*apud* Custódio & Llamas, 1983). Já na Tabela 4.12, e apresentado os valores médios de permeabilidade efetiva e total, sugeridos por Davis (1978), para os tipos granulométricos mais freqüentes nas sondagens da área do projeto.

Tabela 4.11 - Porosidade eficaz de alguns sedimentos inconsolidados, Johnson *apud* Custódio & Llamas (1983).

Material	Porosidade Eficaz (%)		
	máximo	mínimo	média
Areia fina	28	10	21
Areia média	32	15	26
Areia grossa	35	20	27
Areia c/cascalho	35	20	25

Tabela 4.12 – Valores representativos de porosidade efetiva e total segundo Davis *apud* Custódio & Llamas (1983).

Material	Porosidade Eficaz (%)	Porosidade Total (%)
Areia média	25	41 a 51
Areia Fina	10	

Leal et al. (2002), na avaliação hidrogeológica preliminar dos aluviões do Alto Vale do Rio Moxotó, a partir de mais de 150 sondagens, estimaram valores médios para a porosidade eficaz desses aquíferos livres variando de 14% a 26%, valores estes muito próximos aos propostos por Davis (Tabela 4.12). Assim, adotou-se os valores propostos por Davis como representativos da Porosidade eficaz dos depósitos aluvionares, ou seja, variando de 10% a 25%.

4.6.4 - Estimativa das reservas, potencialidade e disponibilidade dos aquíferos aluvionares

A recarga dos aquíferos aluvionares na região se faz, principalmente, pela infiltração direta das águas pluviais, pelo deflúvio superficial das áreas de contribuição das bacias e pela alimentação direta dos cursos d'água (inter-relação rio-aquífero).

A alimentação pela infiltração das precipitações e das águas oriundas do deflúvio superficial ocorrem preferencialmente no primeiro semestre do ano, na chamada "quadra invernososa" (normalmente, de fevereiro a maio). Os rios, quando não perenizados, tendem a escoar ainda até junho ou julho. É neste período que os rios passam de influentes a efluentes em sua relação com as águas subterrâneas.

Cabe lembrar que os três maiores rios da região (Rios Choró, Pirangi e Sitia) são perenizados por açudes de médio porte.

Como exutório natural tem-se o escoamento subterrâneo natural no mesmo sentido de fluxo dos escoamentos superficiais. Nos cursos de menor ordem (1ª e 2ª ordem), devido aos gradientes mais acentuados, o volume d'água infiltrado no período chuvoso tende a escoar totalmente durante o período mais seco (2º semestre), a ponde de atingirem níveis freáticos mínimos.

Em condições de quase saturação dos aquíferos, quando os níveis d'água subterrâneos quase atingem a superfície, outro elemento importante a ser considerado como exutório, é a evapotranspiração. Poços e cacimbas podem ser considerados exutórios artificiais, mas pouco expressivos na área da pesquisa.

A seguir são apresentadas estimativas das reservas hídricas subterrâneas associadas aos aquíferos intersticiais aluvionares da área do projeto.

4.6.4.1 - *Reservas permanentes (Rp)*

O volume hídrico existente no aquífero que não varia em decorrência das flutuações sazonais da superfície potenciométrica, pode ser calculado pela equação 4.02 apresentada no item 4.2.2.1:

$$V_s \text{ ou } Rp = Ab\eta_e$$

onde:

$V_s \text{ ou } Rp$	=	Reserva permanente [L ³]
A	=	área de ocorrência do aquífero [L ²]
b	=	espessura média saturada do aquífero [L]
η_e	=	porosidade efetiva

Como já foi mencionado, não foi realizado um monitoramento e uma avaliação mais acurada dos níveis freáticos na quadra invernososa (fevereiro a maio). COSTA (1995) sugere o uso do valor de 0,50 m para a espessura saturada em casos onde esta não é conhecida. No presente trabalho usou-se como valor representativo da espessura saturada, a metade da espessura média estimada para cada ordem de aluvião. Isto é equivalente a estimar o volume de um prisma de base triangular, com uma face correspondendo a área superficial do aluvião (comprimento total * largura média, por ordem de drenagem), e profundidade igual a espessura média, o que se assemelha a uma forma idealizada do pacote sedimentar. Este valor,

possivelmente, tende a superestimar o nível freático nos trechos de menor ordem, e a subestimar os níveis nos trechos de maior ordem (4ª e 5ª ordem).

As áreas dos trechos foram obtidas pelo produto das larguras médias dos trechos pelos comprimentos dos trechos (total por ordem de drenagem). Os volumes parciais e total de areia saturada são apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Resumo das características dimensionais dos trechos de aluviões da área do projeto.

Elementos calculados	Ordem da Drenagem (Segundo Strahler)					
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Total
Comprimento(m)	1.570.836,08	748.573,69	457.899,08	167.034,87	115.971,81	
Largura (m)	73,75	104,17	105,36	122,06	177,27	
Espessura (m)	2,03	2,12	2,32	3,22	4,84	
Espes. Sat. (m)	1,015	1,06	1,16	1,61	2,42	
Área (m ²)	115.849.161	77.978.921	48.244.247	20.388.276	20.558.323	283.018.928
Volume* (m ³)	117.586.898	82.657.656	55.963.327	32.825.124	49.751.142	338.784.147

* - Corresponde ao volume de areia saturada

Assim, considerando o intervalo de 10 a 25% para o valor da porosidade efetiva, as reservas permanentes (R_p) para os aquíferos aluvionares da região podem ser estimados como sendo:

$$R_p = 338.784.147 \text{ m}^3 \times 0,25 \text{ à } 338.784.147 \text{ m}^3 \times 0,10$$

$$= 84.696.037 \text{ m}^3 \text{ à } 33878415 \text{ m}^3$$

Assim,

$$R_{p_{\text{médio}}} = \mathbf{59.287.226 \text{ m}^3}$$

4.6.4.2 - Reservas reguladoras ou renováveis (R_r)

Para a estimativa dos volumes armazenados ou liberados em decorrência dos aportes sazonais de águas superficiais, do escoamento subterrâneo e dos exutórios, utilizou-se a equação 4.05, apresentada no tópico 4.2.2.2

$$R_r = \Delta h S$$

onde S , coeficiente de armazenamento, corresponde, praticamente, a porosidade efetiva η_e .

Como não foram feitas medições sistemáticas dos níveis d'água nos poços, o cálculo das reservas reguladoras foi realizado através da estimativa do índice de armazenamento (ΔR), utilizando-se informações hidroclimatológicas para o balanço hídrico da região (ver capítulo II). Usou-se a equação do balanço hídrico apresentada no item 4.2 (equação 4.09):

$$P - Q = \mu \cdot E \pm \Delta R$$

onde:

- P = altura da precipitação, em mm, para o período escolhido
- Q = lâmina d'água escoada, em mm
- E = lâmina d'água evapotranspirada, em mm
- μ = fator de correção para obtenção da evapotranspiração real
- ΔR = variação da reserva em mm de altura d'água, correspondendo a duas posições da superfície piezométrica

Como valor da precipitação foi tomado a média anual das precipitações para a região, estimada a partir das 21 estações pluviométricas existentes na região, mais a plataforma de coletas de dados (PCD) de Ibaretama do tipo agrometeorológica (capítulo II, tópico 2.6). As precipitações médias anuais, que oscilam entre 750 e 1.000 mm, apresentam o valor médio de 859 mm, mediana de 846 mm e desvio padrão de 63 mm.

A lâmina d'água escoada foi obtida através do modelo de estimativa da vazão média (em mm) de longo período, desenvolvido por ALEXANDRE & MARTINS (2005), e que é baseado na variância média de predição dos postos envolvidos na estimativa (TASKER & STEDINGER, 1986). A equação é:

$$E[\hat{\mu}] = -159,53 + 8,02D + 0,29P + 0,74Cr$$

onde:

- $E[\hat{\mu}]$ = Estimativa da vazão específica média de longo período;
- D = Declividade (m/km);
- P = Precipitação média (mm);
- Cr = Percentual da bacia situada no cristalino.

Como valor de D (declividade) usou-se o valor médio entre os valores desse mesmo parâmetro estimado para as bacias dos rios Choró e Pirangi (Tabela 2.03 – Capítulo II). Desconsiderou-se o coeficiente de declividade da bacia do rio Sitia por considerar que ele foi fortemente influenciado pela relação: Serras nas cabeceiras e pequena área da bacia.

Já em relação ao percentual da bacia constituída por rochas do embasamento cristalino (Cr), foi utilizado o mapa apresentado na Figura 2.07 (Capítulo II) para gerar o valor desse parâmetro. Coincidentemente, o valor obtido foi semelhante ao estimado para a bacia do rio Pirangi na área. A tabela 4.14 mostra a síntese dos valores utilizados e o resultado obtido para a vazão específica.

Tabela 4.14 – Dados para a estimativa da descarga específica da área.

Características Fisiográficas - Folha de Itapiúna				Qmlp/A (mm)
A (km ²)	P (mm)	Cr (%)	D (m/km)	
3.025	859	87,0	1,5	110,31

A evapotranspiração potencial foi a mesma estimada pelo estudo de Carvalho Júnior (2005), que aplicou o modelo de Penman-Monteith aos dados diários da estação meteorológica de Quixeramobim. Os resultados deste estudo são apresentados na Tabela 4.15 abaixo:

Tabela 4.15 - Evapotranspiração potencial (máxima) em Quixeramobim.

Estatísticas/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Média	198.8	151.1	125.0	101.9	99.9	106.5	133.8	190.8	238.3	260.4	241.4	229.4	2077.3
Desvio padrão	43.4	42.6	34.0	25.8	19.5	27.2	30.6	25.9	24.3	27.4	26.2	38.5	267.7
Média + dpad	242.2	193.7	159.0	127.7	119.4	133.7	164.4	216.7	262.6	287.8	267.6	267.9	2345.0
Média - dpad	155.4	108.5	91.0	76.1	80.4	79.3	103.2	164.9	214.0	233.0	215.2	190.9	1809.6

Um modelo completo para estimativa da evapotranspiração real sobre as bacias hidrográficas estudadas demandaria uma grande quantidade de dados e trabalhos experimentais que não fazem parte do escopo do presente projeto. Assim, com o objetivo de obter uma aproximação da ordem de grandeza da

evaporação real, porém, baseada em dados locais observados, foi adotado uma abordagem simples que utiliza também a estatísticas da série de precipitação da estação Ibaretama da FUNCEME (Tabela 4.16).

Tabela 4.16 – Estatísticas da série de pluviometria de Ibaretama (cód. 544).

Estatísticas/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Média	94.3	104.0	178.3	168.4	108.8	54.4	7.0	5.4	0.0	0.0	2.0	14.5	736.9
Desvio padrão	90.7	62.4	74.9	106.5	84.3	59.9	11.5	20.7	0.0	0.0	8.0	22.8	273.2
Média + dpad	184.9	166.4	253.2	274.8	193.2	114.3	18.5	26.1	0.0	0.0	10.0	37.2	1278.7
Média - dpad	3.6	41.6	103.3	61.9	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	234.9

A ETR (evapotranspiração real) sobre toda a área de estudo foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$ETR = \sum_{i=1}^6 \min(c1 \cdot ETP_i, P_i) + \sum_{i=7}^{12} \min(ETP_i, P_i)$$

Onde:

ETR = evapotranspiração real em mm

ETP = evapotranspiração potencial em mm

P = precipitação média mensal em mm

C1 = coeficiente de correção de uniformidade da evaporação sobre uma grande área ($0 < c1 < 1$)

O valor de C1 deve se aproxima de 1 quanto menor for a área estudada. O uso de um valor de $c1 = 0.8$ resultou em uma **ETR = 542 mm**. Este valor é compatível com as características climáticas da região. Observe que se trata de uma média de longo período e que deve sofrer fortes variações dependendo, principalmente, da pluviosidade em cada estação chuvosa. Assim, para os intervalos entre mais ou menos 1 (um) desvio padrão para os dados de entrada espera-se, aplicando-se o mesmo modelo, valores extremos de 863.6mm e 203.3mm, respectivamente. Tomou-se, então,

Assim, com $\mu.E = 542$ mm, obtemos como estimativa do coeficiente de armazenamento a partir da equação 4.09:

$$\Delta R = 206,7 \text{ mm}$$

e, pela equação 4.05, obtemos a estimativa das Reservas Renováveis dos aquíferos aluvionares, ou seja:

$$Rr = \mathbf{58.497.182 \text{ m}^3}$$

Observa-se que o volume renovável estimado é muito semelhante as reservas permanentes.

4.6.4.3 - *Potencialidades & reservas explotáveis*

Conceitualmente, definiu-se potencialidade de uma unidade aquífera o volume de água que pode ser utilizado anualmente, incluindo uma parcela das reservas permanentes, passíveis de serem explotados durante um determinado período de tempo, com uma descarga constante (COSTA, 1995). Como já mencionado no item 4.2.2.3, no caso dos aluviões, é estimado em 20% o montante que pode ser utilizável das reservas de saturação (permanentes). Assim, tem-se:

$$Po = 0,2Rp + Rr$$

Assim, as reservas explotáveis, ou recursos potenciais, ou simplesmente, potencialidade, foi estimado em:

$$Po = \mathbf{70.354.627 \text{ m}^3}$$

Por fim, pode-se estimar os Recursos explotáveis, também conhecidos como Disponibilidades Reais ou virtuais, que corresponde a parcela máxima que pode ser extraída do aquífero ou do sistema aquífero, sem que se produza efeitos indesejáveis. Os efeitos indesejáveis podem ser classificados em:

De ordem econômica:

- Exaustão do aquífero (dano ao reservatório para qualquer uso);
- Rebaixamento que inviabiliza o uso econômico da água;

De caráter hidrogeológico:

- Inviabiliza o uso das captações existentes por limite das câmaras de bombeamento;
- Provoca o acesso ao aquífero de água de qualidade inaceitável;

- Provoca recalque do terreno, que prejudica estradas, prédios, tubulações, etc;

Conflito de uso (social ou legal):

- Prejudica usuários de poços, as descargas de base dos rios, de fontes e de lagoas;
- Prejudica o equilíbrio do meio ambiente que depende das descargas de rios e de fontes, ou de lagoas, ou ao uso econômico da natureza.

Assim, buscando-se evitar tais efeitos e considerando-se as elevadas perdas por percolação e evapotranspiração, a disponibilidade virtual deverá ser, no máximo, 20% da potencialidade (COSTA, 1995). Assim:

$$Dv \text{ ou } Re = 0,2Po = 14.070.925 \text{ m}^3$$

4.6.5 - Aspectos da qualidade das águas dos aquíferos aluvionares

Não foram realizadas análises físico-químicas durante o presente estudo. As informações disponíveis quanto à qualidade das águas subterrâneas foram obtidas a partir dos dados disponíveis no Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará (MME/CPRM, 2002).

Dos mais de 220 poços cadastrados na região, somente 10 foram identificados como sendo construídos no aluvião, todos eles na bacia do rio Pirangi (Figura 4.13). São poços de grande diâmetro (tipo amazonas) e rasos (profundidades não superiores a 6,0m). Apesar do número relativamente pequeno da amostra de poços no aluvião, os dados deles extraídos mostram-se representativos, considerando as informações verbais colhidas durante os trabalhos de campo.

A Tabela 4.17 apresenta uma síntese dos dados de condutividade elétrica (CE) e de Sólidos totais Dissolvidos (STD) das águas desses poços. Águas com valores de CE, na faixa dos apresentados neste quadro (>1020 $\mu\text{mohs/cm}$), conferem um alto risco de salinização do uso dessas águas para irrigação (C3 a C5), segundo o estabelecido no nomograma de classificação de águas para irrigação do United States Salinity Laboratory - USSL (in Feitosa & Manoel F^o, 1997). Segundo este mesmo nomograma, estas águas só podem ser utilizadas em solos bem drenados e com culturas altamente tolerantes a salinidade, tais como algodão, cevada, etc. As águas com valores de C.E. superiores a 2250 $\mu\text{mohs/cm}$ (caso de 03 poços) são proibitivas para irrigação.

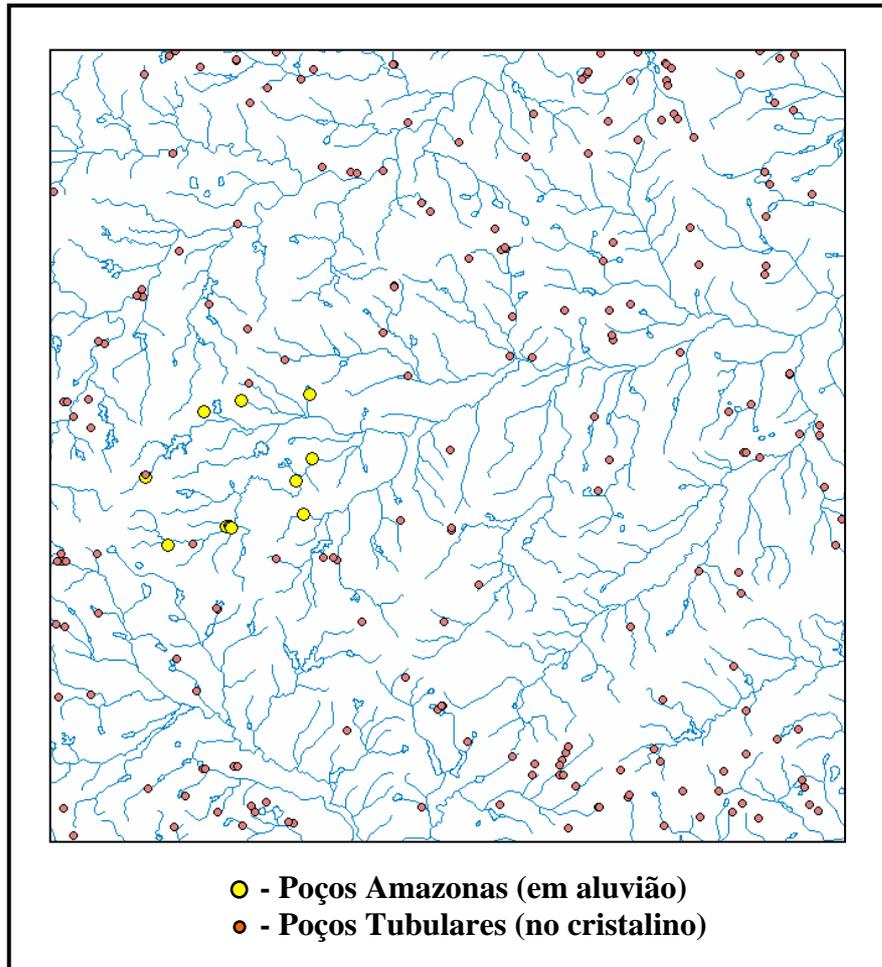


Figura 4.13 – Poços cadastrados na área, pela CPRM em 1998.

Tabela 4.17 – Valores característicos da Condutividade Elétrica e de Sólidos Totais Dissolvidos dos poços tipo amazonas da área pesquisada (MME/CPRM, 2002).

Valores Característicos	Condutividade Elétrica ($\mu\text{mohs/cm}$)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)
Nº amostras:	10	10
Menor valor:	1020	683
Maior valor:	9540	6392
Média:	3521	2359
Desvio Padrão:	3479	2331

A Figura 4.14 mostra a classificação das águas subterrâneas de todos os poços da área, quanto a sua salinização. Os poços tipo aluvião estão destacados

com um círculo maior externo. Esta classificação baseou-se nos índices apresentados na Tabela 4.14.

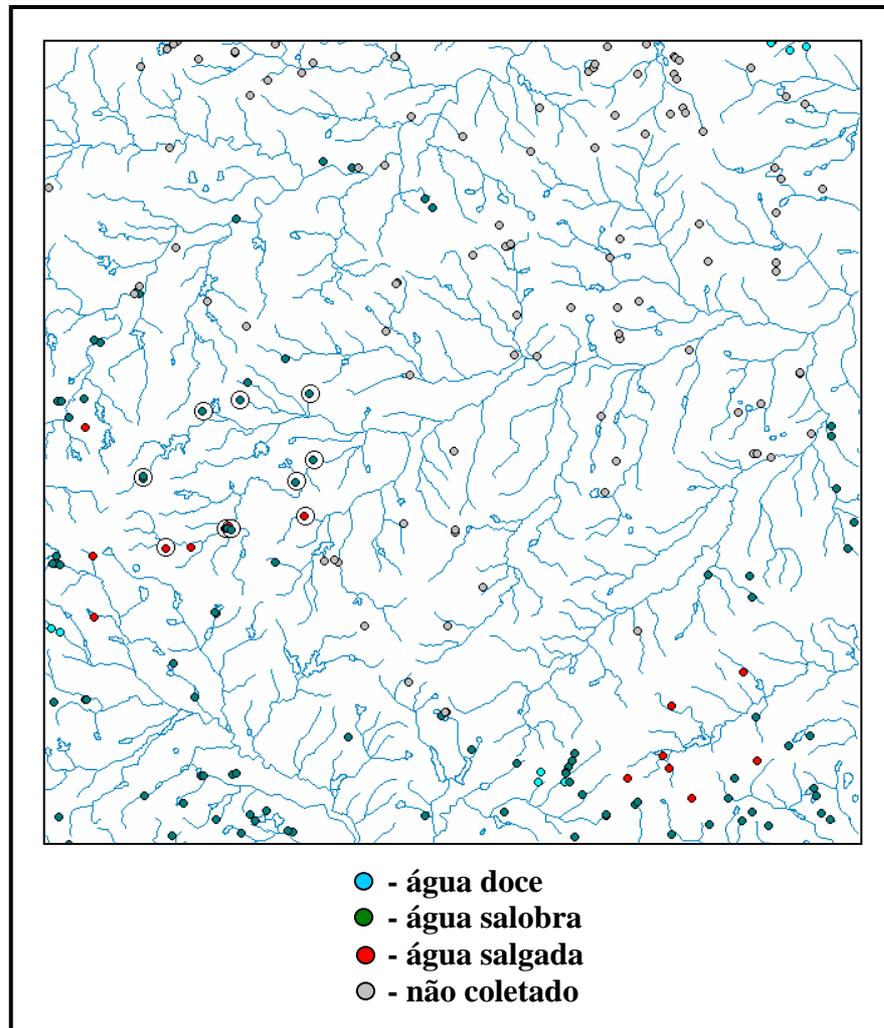


Figura 4.14 – Classificação das águas subterrâneas da região quanto a salinidade (poços tipo amazonas em destaque).

Tabela 4.18 – Classificação das águas quanto a salinidade.

CLASSES DE ÁGUAS	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)
Doce	0 – 500
Salobra	500 – 1500
Salgada	> 1500

Os valores de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) das águas dos poços no aluvião (Tabela 4.17) são sempre superiores a 500 mg/L, mostrando não haver água doce disponível nos aluviões amostrados. Excetuando três amostras, classificadas como salgadas, as demais caracterizam as águas como salobras (TDS entre 500 e 1500 mg/L). Informações por parte de moradores da região confirmam que a maioria dos poços são usados mais para dessedentação animal. Esta situação é também verificada para os poços tubulares da região, que exploram o aquífero fraturado do cristalino.

O açude Castro, o maior açude da região estudada, monitorado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH, apresenta elevada concentração de sais. A Tabela 4.19 apresenta os valores de cloreto observados em três períodos distintos. Observa-se que os índices de cloreto se apresentam sempre fora do limite estabelecido pela legislação, que é de 250 mg/L (COGERH, 2007). O padrão de salinidade observado no açude Castro parece ser a tendência para os demais açudes existentes na região. Assim, isto pode ser o fator para que as águas subterrâneas associadas aos aquíferos aluvionares apresentem tendência a altas concentrações de sais dissolvidos, dado a alta conectividade hidráulica entre rio e aquífero.

Tabela 4.19 - Valores de cloreto (na superfície) no Açude Castro
(Fonte:COGERH, 2007).

Pontos Monitorados	Cloreto Total (mg/L Cl)		
	2001	2002	2006-2007
CAS - 11	444,86	347,40	268,70
CAS - 05	477,95	266,60	268,70
CAS - 08	475,45	309,40	-
CAS - 10	473,05	308,10	256,30
CAS - 70	-	-	266,10
CAS - 71	-	-	268,70
CAS - 72	-	-	266,10
CAS - 73	-	-	268,2

Outro elemento a se considerar quando da análise dos altos teores de sais nas águas dos aquíferos aluvionares da região, e de grande parte da região de predomínio do embasamento cristalino, é o fato de ser os aluviões, normalmente, zonas de exutórios naturais do aquífero fraturado do embasamento. Os aluviões, a semelhança da drenagem, ocupa a porção mais baixa de um contexto topográfico. Assim, o sentido de fluxo, sob condição de potenciometria natural, tende a fazer com que os aluviões possam ser alimentados pelas águas do aquífero cristalino. Condições de cheias nas calhas dos rios podem inverter este fluxo.

4.7 - Proposta de Hierarquização dos Aquíferos Aluvionares da Área Pesquisada

O termo Hierarquização subentende a ordenação de elementos com base na ordenação da importância de tais elementos sob um determinado enfoque. Em se tratando de aquíferos, mais especificamente os aluvionares (ou aluviais), o enfoque lógico é a potencialidade hídrica associada aos pacotes sedimentares.

Como apresentado no item 4.6.4, além das características hidráulicas do meio há os aspectos dimensionais a serem considerados na avaliação das reservas e das potencialidades.

No transcorrer do estudo ficou claro que o elemento que melhor correlacionou estes dois enfoques, de forma direta, foi o grau de bifurcação das drenagens. Quanto maior o grau de bifurcação, maiores eram os pacotes sedimentares e mais espessos os níveis aquíferos com melhores características hidráulicas. O método de Strahler, que corresponde a uma variante do método de Horton, foi o que melhor traduziu esta relação.

Assim, é apresentado na Tabela 4.20, uma síntese das informações compiladas nos tópicos anteriores, de forma a ordenar os aluviões da presente área de pesquisa, no que tange aos seus aspectos hidráulicos, dimensionais, reservas e disponibilidades hídricas, tomando como elemento base de ordenação o grau de bifurcação das drenagens proposto por Strahler.

Pelo apresentado o Quadro 4.01, pode-se distinguir quatro níveis de potencialidade hidrogeológica dos aquíferos aluvionares da região. Cabe frisar que o termo potencial aqui é empregado como qualificação das características favoráveis do meio ao armazenamento e disponibilização das águas subterrâneas, principalmente no aspecto quantitativo. Cabe frisar que os aspectos de qualidade das águas subterrâneas da área pesquisada não foram suficientemente analisados

para dar sustentação confiável a uma parametrização sob este enfoque. As classificações (níveis) obtidas foram:

- Aluviões de potencial hidrogeológico inexpressivo: constituídos pelos aluviões associados as drenagens de primeira ordem, que ocorrem normalmente em zonas de declividade relativamente elevadas, aos sopés das zonas mais elevadas. São pacotes rasos e de extensões reduzidas que tendem a ficar secos grande parte do ano, por não terem configurações favoráveis ao armazenamento das águas subterrâneas;
- Aluviões de baixo potencial hidrogeológico: formado pelos pacotes sedimentares associados às drenagens de segunda e terceira ordem. Apesar de apresentarem características litológicas (e hidráulicas) razoáveis, possuem, ainda, pouca expressão volumétrica. Sua exploração somente atende as demandas domésticas individuais ou de pequenas comunidades e, em situações mais favoráveis, o suprimento de pequenas áreas de plantio (hortas comunitárias);
- Aluviões de potencial hidrogeológico médio: são formados pelos aluviões das drenagens (riachos e rios) de quarta ordem. Pelo porte dos pacotes e das características hidráulicas, são passíveis de garantir a sustentabilidade hídrica de pequenas comunidades ou de áreas de plantio irrigado. Sua restrição está, aparentemente, na qualidade das águas;
- Aluviões de alto potencial hidrogeológico: associados aos rios de grande porte da região (de quinta ordem), constituem-se em aquíferos com boa capacidade de armazenamento e exploração. Sua conexão hidráulica com rios perenizados garante a sua contínua recarga. Os volumes armazenados e passíveis de serem explorados podem suprir as demandas de comunidades de povoados próximos, assim como a projetos de irrigação de pequeno a médio porte. Novamente, deve-se ressaltar o cuidado de estudos mais detalhados quanto aos aspectos qualitativos destas águas subterrâneas.

A Figura 4.15 mostra a hierarquização proposta planificada no mapa de aluviões elaborado a partir do tratamento de imagens ASTER. Esta mesma carta encontra-se em anexo, em tamanho A2.

Quadro 4.01 – Classificação do Potencial Hidrogeológico dos aquíferos aluvionares da Folha Itapiúna.

Hierarquização dos aquíferos aluvionares por segmento de rio (trechos)						
Características dos Aquíferos		Ordem das Drenagens Associadas (Segundo Strahler)				
		1^a	2^a	3^a	4^a	5^a
Aspectos Geométricos	Comprimento Médio (m)	Média: < 1 km Podendo atingir até 5 km	Média: 2 km Podendo atingir até 12 km	Média: 6 km Podendo atingir até 20 km	Média: 11 km Podendo atingir até 42 km	Média: > 20 km
	Largura Média (m)	Média: 73 m Podendo atingir até 120 m.	Média: 104 m Podendo atingir até 200 m.	Média: 105 m Podendo atingir até 200 m.	Média: 122 m Podendo atingir até 200 m.	Média: 177 m Podendo atingir até 260 m.
	Espessura Média (m)	Média: < 2,0 m	Média: 2,1 m	Média: 2,3 m	Média: 3,2 m	Média: 5,0 m
Hidráulica	Permeabilidade Média (cm/h)	5,62E+00 (7,16E-01 a 8,01E+00) Moderada	6,42E+00 (8,14E-01 a 1,45E+01) Moderadamente rápida	8,46E+00 (7,34E-01 a 1,88E+01) Moderadamente rápida	7,60E+00 (7,42E-01 a 1,34E+01) Moderadamente rápida	8,61E+00 (3,87E+00 a 1,22E+01) Moderadamente rápida
	Espessura Saturada Média(m)	Normalmente <1,0 m	1,0 m em média	1,0 m em média	Entre 1,0 e 2,0 m	Normalmente > 2,0 m
Reservas Estimadas	Reservas Permanentes	Inexpressivas (declividades altas)	Pequenas ≈ 19.000 m ³ /km	Pequenas ≈ 21.000 m ³ /km	Significativas Média: ≈ 34.000 m ³ /km	Muito significativas Média: ≈ 75.000 m ³ /km
	Disponibilidades	Inexpressivas Uso doméstico individual	Pequenas Uso Doméstico e pequenas demandas de irrigação	Pequenas Uso Doméstico e pequenas demandas de irrigação	Significativas Pequenas comunidades e pequena áreas irrigadas	Muito significativas Comunidades de médio porte e áreas irrigadas de médio porte
Potencial Hidrogeológico		inexpressivo	baixo		médio	alto

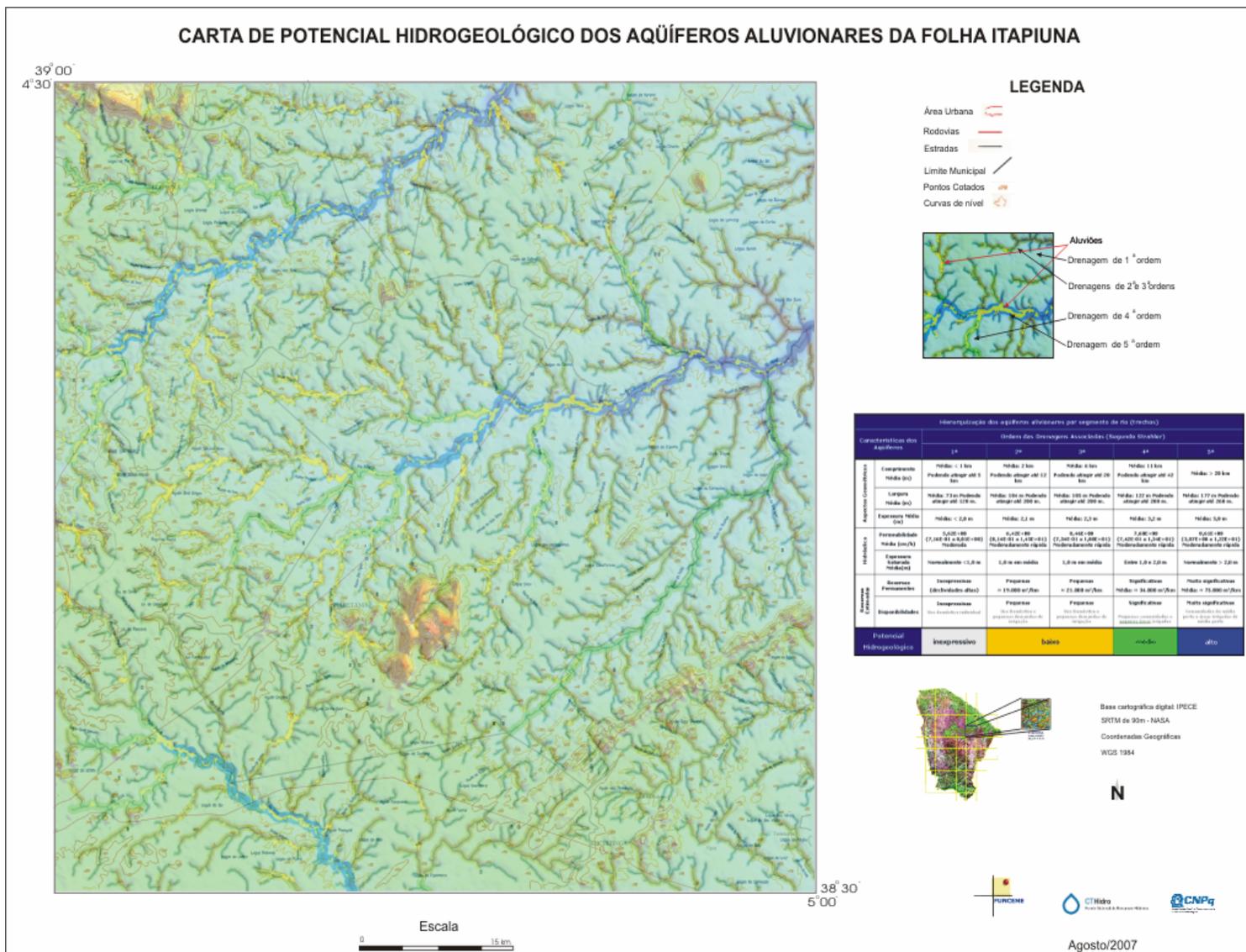


Figura 4.15 – Carta do potencial hidrogeológico dos aquíferos aluvionares na região da Folha Itapiúma (veja esta carta em tamanho A0).

CONCLUSÕES & RECOMENDAÇÕES

5 - CONCLUSÕES

O mapeamento dos corpos aluvionares, realizados no escopo da presente pesquisa, mostrou alguns pontos fortes do uso de produtos e técnicas de análise de imagens de satélite mas, por outro lado, apontou algumas limitações ainda a serem superadas em estudos futuros. A análise hidrogeológica, munida pelos produtos de uma extensa campanha de campo, mostrou ser possível ordenar a nível de potencial hidrogeológico os diversos segmentos de uma mesma unidade aquífera. A seguir é apresentado as principais considerações acerca dos vários elementos que comporam este estudo.

✓ ***Sobre os produtos e equipamento utilizados no mapeamento dos corpos aluvionares:***

- O uso de produtos de sensoriamento remoto que abrange larga faixa espectral no registro das respostas espectrais dos elementos (imagens LANDSAT, ASTER e SPOT), permitiram uma maior flexibilidade na análise dos elementos mapeados;
- As imagens do satélite LANDSAT ETM+ (LANDSAT 7), apesar de apresentarem resolução espacial e espectral satisfatórias, apresentaram restrições quando usadas em processos automáticos de classificação, devido a problemas técnicos na geração das imagens a partir de 2003. O uso das mesmas para análise visual (método subjetivo) para classificação foi considerado bom;
- As imagens ASTER mostraram-se mais apropriadas para o presente estudo, dado a relação "resolução espacial e espectral x custos";
- As imagens SPOT, avaliadas somente em outra área, mostraram-se mais eficazes na detecção de corpos aluvionares, dado a sua maior resolução espacial. Infelizmente o custo associado a este tipo de produto é quase proibitivo para grande parte dos pequenos projetos, dado aos orçamentos limitados;
- O uso do espectrorradiômetro, como ferramenta de campo para descrever espectralmente os alvos, mostrou-se muito eficiente, sendo seu manuseio extremamente fácil;

✓ ***Sobre a metodologia utilizada e os produtos gerados no mapeamento dos corpos aluvionares:***

- O mapeamento através da interpretação puramente visual dos alvos mostrou restrição quanto a identificação de pequenos elementos de drenagem, dependendo muito da habilidade do fotointerprete;

- As assinaturas espectrais de diversos tipos de alvos associados aos aluviões foram bastante coerentes com as apresentadas na literatura especializada;
 - A análise comparativa das assinaturas coletadas em períodos distintos (inverno e verão) mostraram, de forma sutil, o efeito da umidade na reflectância dos alvos;
 - O uso de classificação automática na separação dos alvos, utilizando bibliotecas espectrais geradas a partir de dados coletados pelo espectrorradiômetro, mostraram-se mais eficientes nas imagens SPOT que nas imagens ASTER devido, possivelmente, a menor resolução espacial dessa última;
 - A classificação das imagens ASTER com a coleta das assinaturas espectrais dos aluviões da própria imagem mostrou-se satisfatória, mas ainda houve confusões de *pixels* entre classes para aluviões, principalmente nos de pequeno porte, associados a drenagens de 1ª e 2ª ordem;
 - A classificação das imagens SPOT com o uso de assinaturas espectrais geradas pelo espectrorradiômetro alcançou bons resultados;
 - A metodologia de análise das imagens para o mapeamento das unidades aquíferas aluvionares empregada nesta pesquisa pode ser facilmente replicada para outras áreas do domínio do embasamento cristalino no semi-árido nordestino, pelo fato de ter sido aplicado um tratamento objetivo, cuja interveniência do fotointerprete é mínima;
- ✓ ***Sobre a metodologia dos trabalhos de campo para a caracterização hidrogeológica dos depósitos aluvionares:***
- Os serviços de sondagens somente foram possíveis com o desenvolvimento de equipamentos específicos para a tradagem em solos arenosos saturados;
 - O método de Pourchet mostrou-se prático e forneceu resultados coerentes com o esperado.
- ✓ ***Sobre a metodologia utilizada e os resultados encontrados na avaliação hidrogeológica dos aquíferos aluvionares:***
- A geração automática da rede de drenagem a partir do modelo digital do terreno (MDT) foi considerada boa, com a obtenção de uma malha de drenagem mais refinada, e com boa aderência a realidade (verdade de campo);
 - A aplicação da classificação de Strahler para ordenar os trechos de drenagem, apresentou-se muito prática para ordenar também os aluviões associados. Esta classificação permitiu a preservação, principalmente, de elementos dimensionais característicos que definem os tipos de aluviões presentes na área;

- Via de regra, observou-se que os aluviões associados aos trechos de drenagens de ordem 4 e 5 apresentaram melhores características hidrogeologias, nos aspectos dimensionais e hidráulicos, assim como mostraram as maiores espessuras das camadas mais permeáveis, que na maioria dos casos perfaziam menos de 50% da profundidade do pacote sedimentar;
- As estimativas das reservas e disponibilidades da unidade aquífera aluvionar mostrou serem significativos os volumes acumulados e passíveis de serem explorados para fins diversos;
- Os dados sobre qualidade das águas subterrâneas foram insuficientes para diagnosticar, de forma conclusiva, este aspecto desse recurso hídrico;
- A obtenção dos dados dimensionais dos trechos aluvionares, associados à estimativa das características hidráulicas, permitiram a inferência das potencialidades hidrogeológicas do sistema aquífero em bases confiáveis. A hierarquização proposta do potencial hidrogeológico dos aquíferos aluvionares, é objetiva e retrata bem a realidade dos recursos hídricos subterrâneos da folha Itapiúna.

6 - RECOMENDAÇÕES

O mapeamento de aluviões com o uso de classificação automática precisa superar algumas dificuldades, entre elas a grande variabilidade da resposta espectral dos aluviões, função da presença de vários tipos de alvos presentes, tais como coberturas vegetais diversas. A seguir são apresentadas algumas recomendações no intuito de que futuros trabalhos que apliquem a classificação objetiva para mapeamentos atinjam resultados mais satisfatórios.

- As resoluções, tanto espectrais como espaciais, devem ser alvo de atenção minuciosa na hora da escolha das imagens, pois a qualidade da classificação esta associada a definição feita dos alvos desejados. Recomenda-se dar mais ênfase a resolução espacial, pelo fato de melhor definir o contorno dos alvos, minimizando a confusão entre pixels;
- Para futuros trabalhos de estudo de alvos, principalmente os associados a tipos litológicos, como os aluviões, recomenda-se o uso de um espectrorradiômetro com um range espectral até 2500 nm., pois é na faixa do infra-vermelho próximo que ocorre elementos diagnósticos na assinatura espectral de alguns alvos, além de ampliar o numero de bandas das imagens que podem ser utilizadas nos estudos de classificação pelas bibliotecas espectrais;

- Classificações de imagens por outras técnicas não empregadas nesta pesquisa poderão fornecer elementos para comparação da eficiência desses procedimentos na identificação de corpos aluvionares. A classificação de imagens pela aprendizagem por árvore de decisão pode ser desenvolvida não só para aluvião, mas também para vários outros usos do solo nestas imagens. Outra técnica que deveria ser usada é o uso de Redes Neurais Artificiais.

No tocante a avaliação hidrogeológica dos aquíferos aluvionares, alguns elementos ainda se fazem ausentes. Dentre eles uma avaliação espacial e temporal da qualidade dos recursos hídricos subterrâneas. Como foi apresentado, alguns aluviões apresentam, em termos quantitativo, um bom potencial de armazenamento e disponibilização de águas subterrâneas, mas faltam ainda elementos para definir se estas águas podem realmente suprir algum tipo de demanda. Além disso, recomenda-se:

- Em função do potencial já apontado, caberia um detalhamento maior das características hidráulicas das camadas mais permeáveis dos aluviões associados a drenagens de 4ª e 5ª ordem. Ensaio de bombeamento de curta duração (12 hs) são recomendados;
- Para um equacionamento mais preciso do balanço hídrico da região, recomenda-se um programa de monitoramento em poços localizados em aluviões próximos as sedes ou distritos localizados na folha Itapiúna, com vistas a aproveitamento futuro desses recursos hídricos;
- Estudar a inter-relação entre o aquífero fraturado (cristalino) e os aluviões, com enfoque principal em possíveis conexões hidráulicas e suas implicações na qualidade das águas dos aquíferos aluvionares e, por fim;
- Recomenda-se que estudos explorando ferramentas computacionais que envolvam a filosofia de GIS e produtos como modelos numérico do terreno sejam desenvolvidos, principalmente visando dar subsídios para a delimitação automática, não só da drenagem, mas dos próprios depósitos aluvionares. Isto poderá tornar o processo de avaliação hidrogeológica, a nível regional, mais objetiva e precisa. Inferência das espessuras dos pacotes aluvionares a partir da análise de elementos característicos da bacia contribuinte a seção analisada, tais como área, declividade, comprimento da drenagem, etc, poderiam ser enfocados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS Águas Subterrâneas: Minimização das conseqüências da seca no nordeste. Brasília, 2003. Material disponível na internet – URL: <http://www.abas.org/>

ALEXANDRE, A.M.B., MARTINS, E.S. Regionalização de Vazões Médias de Longo Período para o Estado do Ceará. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 10(3). Fortaleza/CE. 2005.

ANTUNES, M. A. H., FREIRE, R. M. B., BOTELHO, A. S. e TONIOLLI, L. H. Correções atmosféricas de imagens de satélite utilizando o modelo 6s. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte – MG. 2003. URL: www.cartografia.org.br/xxi_cbc/174-SR21.pdf . Acesso em: 26/01/06.

ASTER: Imagens de satélite. Fortaleza: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2005. Cenas: 070033, 091326 e 110034. Bandas: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. 1 CD-ROM.

ASTER_GDS. Correção do Cross-talk. URL: http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/release_e/set_release_eocrs.html. Acesso em: 12/12/05.

BORSATO, F. H.e MARTONI, A. M. Estudo da fisografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná.;Acta Scientiarum (UEM), EDUEM, v. 26, n. 2, p.inicial 273, p.final 285, 2004

BRAS, R.L. *Hydrology: an introduction to hydrologic science*. Reading: Addison-Wesley, 1990.

CARVALHO, M. S. B. S., SOUZA, M. J. N., FREITAS FILHO, M. R. e SOARES, A. M. L. Caracterização do uso e ocupação do estuário e entorno do Rio Pirangi (CE). FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2001.

CARVALHO JÚNIOR, V. N. Reserva de Emergência para Abastecimento Hídrico do Projeto Santa Quitéria: Aspectos Hidrológicos da Operação do Sistema; Relatório Técnico; FUNCEME; Fortaleza/CE, 62p. 2005.

CARVALHO JR. ET ALL - Avaliação das perdas de água em trânsito em rios perenizados do semi-árido. FUNCEME. Fortaleza/CE. 2002

CASTRO. M. A. H.; FERREIRA FILHO, W. M.; MÖBUS, G. e GOMES, L. A. M. Obtenção de parâmetros hidrogeológicos de um aquífero aluvionar no semi-árido. In: I Congresso mundial integrado de águas subterrâneas. Fortaleza-Ce. 2000.

CASTANY, G. *Traité pretique des Eaux souterrainer* (2º edição), Paris, FR. 661p. 1967

- CAUDURO, F.A. E DORFMAN, R.** Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Proni/iph. Porto Alegre/RS. 216p. 1988.
- CHOUDHURY, P. R.** Integrated remote sensing and GIS techniques for groundwater studies in part of Betwa basin, Ph.D. Thesis (unpublished), Department of Earth Sciences, University of Roorkee, India. 1999
- COGERH.** Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas. Fortaleza, 2001.
- COGERH.** Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas. Relatório Interno. Fortaleza, 2007.
- COSTA, W.D.** Gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos. In Whorkshop sobre gerenciamento de recursos hídricos. Salvador, BA, 13p. 1995
- COUTO, H. T. Z. ; VETTORAZZI, C. A. .** A tecnologia do geoprocessamento para a Engenharia Florestal.. In: 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990.
- CRÓSTA, A. P.** Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170p.
- CPRM/MME** Atlas Geológico do Ceará – ESCALA 1:500.000. CD. Fortaleza-CE. 2003
- CPRM/MME** Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará - Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará .2.ed. Fortaleza. 2000.
- CUSTODIO, E. E LLAMAS, M.R.** Hidrologia Subterrânea. Editorial Omega. Barcelona. 1976
- DAVIS, R.A.** Coastal sedimentary environments. New York: Springer-Verlag. 420p. 1978
- DERT** Mapa Político e Rodoviário do Ceará – escala 1:750.000. Fortaleza, 2005
- ENGESAT.** Características dos satélites: URL: <http://www.engesat.com.br/satelites/satelites.htm> . Acesso em: 05/09/2005
- ERSDAC_2001,Crosstalk3.**URL:http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/u.tools_e/cross/CRSTK30.lzh. Acesso em: 12/12/05.
- FEITOSA, F.A.C. e MANOEL Fº. J.** Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM. Recife/PE. 1997.

- FLORENZANO, T. G.**, Imagens de satélites para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos-INPE. 2002.
- FONSECA, E. L. e GLERIANI, J. M.** Avaliação do efeito da correção atmosférica e retificação radiométrica no cálculo da transformação Tasseled Cap. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. Anais... Goiânia, 2005.
- FORMAGGIO, A. R. e EPIPHANIO, J. C. N.** Feições espectrais e parâmetros analíticos de solos tropicais.. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu. 2001.
- GAMBA, C. T. C. e LUCHIARI, A.** Avaliação da exatidão de mapeamentos do uso e da cobertura da terra obtidos a partir de classificadores baseados n concepção Fuzzy. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. Anais... Goiânia, 2005.
- GANAN, J. R., ROCHA, J. V., MERCANTE, E. e ANTUNES, J. F. G.**, Mapeamento da cultura da soja com imagens LANDSAT 5 /TM utilizando algoritmos de classificação supervisionada. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. Anais... Goiânia, 2005.
- GARCIA, G.J.** Sensoriamento Remoto: Princípios e Interpretação de Imagens. Nobel, São Paulo. p.357. 1982.
- GÜRTLER, S., EPINHANIO, J. C. N., LUIZ, A. J. B. e FORMAGGIO, A. R.** Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ LANDSAT. INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais - São José dos Campos – São Paulo. URL: www2.prudente.unesp.br/rbc/_pdf_57_2005/57_2_11.pdf. Acesso em: 27/09/2005.
- HOFFER, R.M.**, Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: Remote sensing: the quantitative approach. New York, McGraw-Hill, 396p. 1978.
- HORTON, R.E.** *Drainage Basin Characteristics*. Trans. American Geophysical Union, 13: 350-361, 1932
- IPECE.** Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará Anuário Estatístico do Ceará. 2006.
- IPECE.** Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal. 2004.
- IWAI, O. K.** Mapeamento do uso do solo urbano do Município de São Bernardo do Campo, através de imagens de satélites. 2003. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo , 2003.

- LEAL, O.** Trabalhos de pesquisa e estudos hidrogeológicos efetuados nas aluviões do Nordeste Oriental. Fase I - Coleta de Dados. Recife: CPRM, 25p. il. 1998.
- LEAL, O., SÁ, J.U. e MASCARENHAS, J.C.** Avaliação hidrogeológica preliminar das aluviões do alto vale do rio moxotó – PE. Recife/PE, 2000.
- LEITE, C. E. S.; ANDRADE, F. C. M.; MÖBUS, G. e SOUZA, N. P. R.** Modelagem geométrica de um trecho aluvionar do Rio Palhano na comunidade do Chile, no limite dos municípios de Morada Nova e Ibicuitinga – CE. Fortaleza. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2000.
- LEITE, F. R. B., OLIVEIRA, S. B. P., BARRETO, M. M. S., CARVALHO, G. M. B. S. e FREITAS FILHO, M. R.** Degradação ambiental e susceptibilidade aos processos de desertificação na região do médio Jaguaribe – CE. Fortaleza. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2003.
- LINSLEY, R.K. Jr. et al.** *Hydrology for Engineers*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1975.
- LOEBMANN, D. G., GUIMARÃS, R. F., BETTIOL, G. M., FREITAS, L. F., REDIVO, A. L., e CARVALHO JÚNIOR, O. A.** Mistura espectral de imagens LANDSAT para análise multitemporal de uso da terra nas diferentes unidades pedológicas da bacia do Rio Jardim DF. , In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. Anais... Goiânia, 2005.
- LUIZ, A. J. B., BARROS, M. G. M., FORMAGGIO, A. R. e EPIPHANIO, J. C. N.** Comportamento Espectral Associado a Parâmetros Agronômicos de Soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. 2001. Anais... Foz do Iguaçu. 2001.
- LUIZ, A. J. B., GÜRTLER, S., GLERIANI, J. M., EPIPHANIO, J. C. N. e CAMPOS, R. C.** Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003. Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte. 2003.
- MÖBUS, G.; ANDRADE, F. C. M.; e LEITE, C. E. S.** Estimativa do potencial hidrogeológico de barragem subterrânea – um estudo de caso. In: V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de língua oficial Portuguesa – XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju. 2001.
- MOREIRA, M. A.** Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2 ed. Viscosa: UFV, 2003. 307p.
- NUCLEBRAS/CEMINAS** Mapa geológico/estrutural da Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna – Ceará – 1:100.000. Fortaleza, CE. 1984.

OLIVEIRA, F. A. J. Uso de técnicas de sensoriamento remoto e SIG para mapeamento dos aluviões em zonas semi-áridas através de métodos de classificação automática. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza,

OLIVEIRA, S. B. P., SOUZA, M. J. N., LEITE, F. R. B. e COSTA, R. N. S. Contribuição ao Estudo da Degradação Ambiental no Município de Caridade – CE. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003. Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte. 2003.

P.K. ACHARYA, A, A. BERK, G. P. ANDERSON, N. F. LARSEN, S-CHEE TSAY AND K. H. STAMNES. MODTRAN4: Multiple Scattering and Bi-Directional Reflectance Distribution Function (BRDF) Upgrades to MODTRAN. University of Alaska-Fairbanks, Fairbanks, 1999. URL: www.spectral.com/sr115.pdf . acesso em: 26/01/2006.

PEREIRA J. L. G., BATISTA, G. T. e ROBERTS D., Reflectância de coberturas vegetais na amazônia, In. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador: 1996. p. 551-556.

PARENTE, C.V. e HENRIARTHAUD, M. O SISTEMA ORÓS-JAGUARIBE NO CEARÁ, NE DO BRASIL. Revista Brasileira de Geociências. Fortaleza/CE. dezembro/1995

RICHARDS. J. A. Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction. Berlin. Springer – Verlag . 2ª ed., 1995. 340p.

ROJAS, E. H. M. Síntese Genética de Redes Neurais Artificiais ART2 na classificação de imagens ASTER para mapeamento de uso e cobertura da terra na região Norte de Mato Grosso. 2005. 126f. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José Dos Campos. 2005.

SBRUZZI, G. URL:<http://www.Geoclick.rg3.net>

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ (SRH) – CE. Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará. Fortaleza, 2005. 1 CD ROM.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ (SRH) – CE. Plano estadual de recursos hídricos do estado do ceará. (PERH-CE). Fortaleza, 1992. URL: <http://www.srh.ce.gov.br/> 2005. Acesso em: 10/01/2006.

SDN/MI, 1972 Carta topográfica: Folha SB.24-X-A-IV/Itapiúna - Ceará - 1:100.000. Fortaleza, CE. 1972

SENNA, J. e SOUZA FILHO, C. R., Caracterização e modelagem de argilas utilizadas pela indústria cerâmica por espectroscopia de reflectância e dados multiespectrais ASTER - um experimento no depósito de ball clay de São Simão. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. Anais... Goiânia, 2005.

SHIBA, M. H., SANTOS, R. L., QUINTANILHA, J. A. e KIM, H. Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. Anais... Goiânia, 2005.

SILVA, B. S. G. e VALFRIANO, D. M. Georreferenciamento e análise da correção atmosférica para o cálculo de albedo usando o sensor LANDSAT ETM+. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003. Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte. 2003.

SILVA, P. G., GRAÇA, P. M. A., SANTOS, J. R. e SHIMABUKURO, Y. E. Avaliação da correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003. Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte. 2003.

Spot Image. SICORP - FAQ.htm. URL: <http://www.spot.com/html/SICORP/>. Acesso em: 18/05/2006.

SPOTS: Imagens de satélite. Programa ISIS (Incentivo ao Uso Científico de Imagens Spot) do CNES (Centro Nacional de Estudos Espaciais da França), dentro do projeto de cooperação bilateral franco-brasileiro CAPES-COFECUB nº 474-04). 2006. Cenas: XS-021002 e XS-170703. Bandas: 1, 2, 3 e 4. 1 CD-ROM.

STAMNES, K., S.C. TSAY, W. WISCOMBE, K. JAYAWEERA. Numerically stable algorithm for discrete-ordinates method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. *Appl. Optics*, v. 27, n.12, p. 2502-2509, 1988.

STHALER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. American Geophysical Union*, 38: 913-920, 1957

SULSOFT. Guia do ENVI URL: <http://www.sulsoft.com.br/downloads/main.htm>. Acesso em: 05/09/2005

SULSOFT. Manual do FLAASH. CD-ROM de instalação do FLAASH 4.2. 2006.

TASKER, G.D.; STEDINGER, J.R. *Estimating Generalized Skew With Weighted Least Squares Regression*. Journal of Water Resources Planning and Management, 112(2), 225-237. 1986.

TUCCI, C.E.N. Hidrologia: ciência e aplicação. Coleção da ABRH1: 1ª ed. v.4. Porto Alegre: UFRS, 943p. 2000.

VERMOTE, E. F; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens., v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997

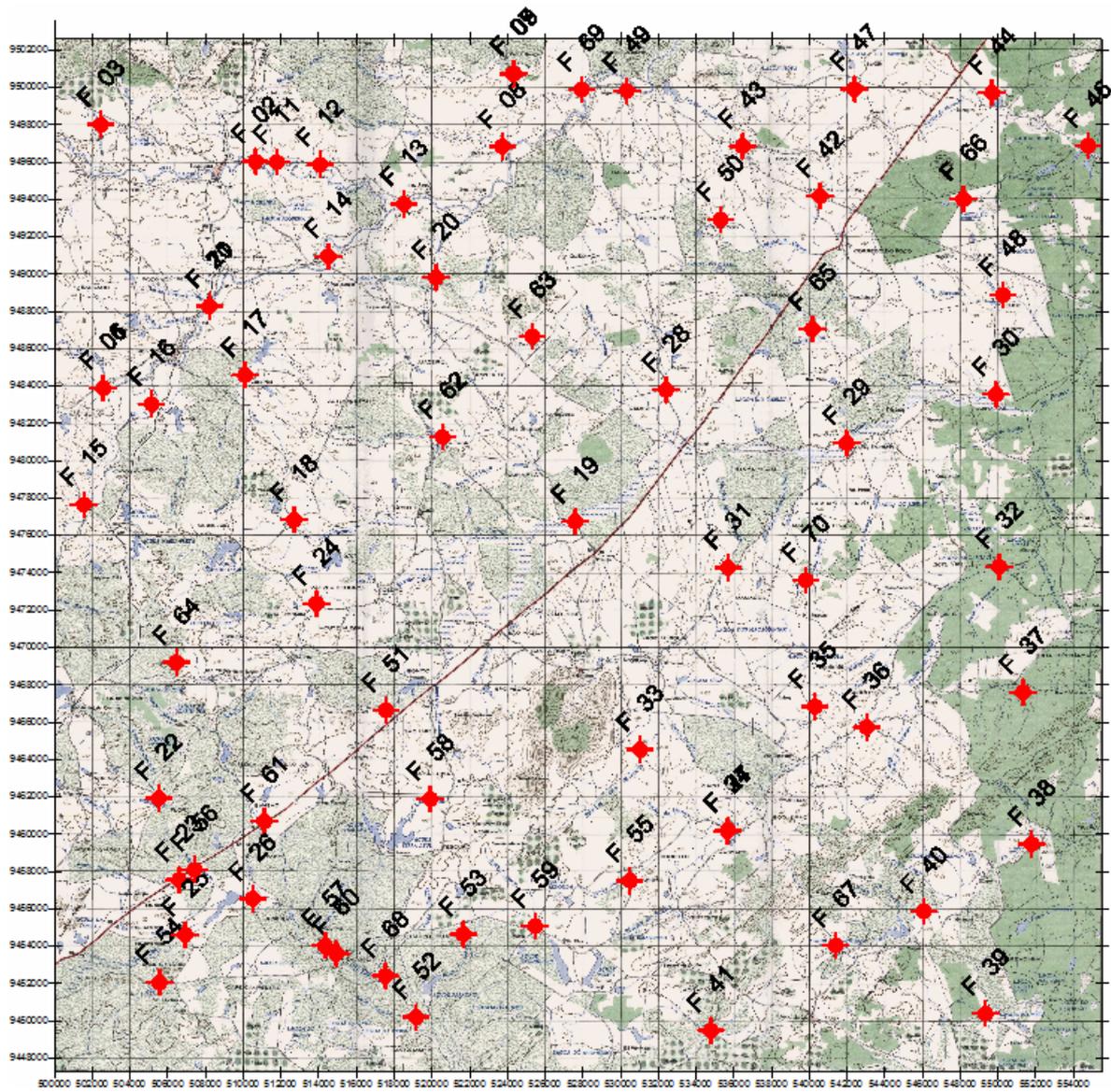
VICENTE, L. E., SOUZA FILHO, C. R. e PEREZ FILHO, A. Mapeamento de formações arenosas em fragmentos de Cerrado utilizando dados e produtos do sensor ASTER. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. Anais... Goiânia, 2005.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. Sao Paulo, McGraw-Hill, 245p. 1975.

ZULLO JR. J.;XING FA GU; RUBENS LAMPARELLI; GÉRARD GUYOT; PAULO CÉSAR BEZERRA. Pré-processamento das imagens de satélite, Campinas-SP. 2006. Acesso: <http://orion.cpa.unicamp.br/html/cigv1n1a7.html>. Acesso em: 20/05/2006.

ANEXO I – MAPA E PERFIS DOS FUROS DE SONDAGENS

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS A TRADO



FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 01-A	Localidade: Barra dos Frazões	
Data: 11/04/06	Profundidade: 7,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 502577 9483892		Cota do Terreno:
Perfil Nº 1 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 – 0,76	Areia média, limpa, marrom clara, pouco úmida.
	0,76 – 1,04	Areia fina, com silte, marrom, úmida.
	1,04 – 1,24	Silte com areia, marrom escuro, úmida.
	1,24 – 2,00	Areia grossa, limpa, marrom claro, úmida, com cascalho.
	2,00 – 2,25	Areia grossa, limpa, marrom claro, muito úmida.
		Areia grossa, limpa, marrom claro, saturada .
	2,25 – 4,16	Areia muito grossa, limpa, avermelhada, saturada, com seixos.
	4,16 – 4,45	Areia muito grossa, limpa, clara, saturada, com seixos.
	4,45 – 6,10	Areia muito grossa, limpa, cinza médio, saturada, menos seixos.
	6,10 – 7,00	
		Existe informação sobre a largura.

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 01-B		Localidade:	
Data: 11/04/06		Profundidade: 2,70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 510673 9496052			Cota do Terreno:
Perfil Nº 2 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 - 0,60	Areia fina, predominância de mica, amarela escura, pouco úmida.	
	0,60 - 1,00	Areia com nódulos de argila, predominância de mica, amarela mais escura, pouca úmida.	
		Foto -07; Fotos -297 (Rio Castro); Foto -295 (Barreira Aluvião).	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 02		Localidade:	
Data: 11/04/06	Profundidade: 2,70		Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 510642 9496039		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 3 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,60	Areia fina, com silte, marrom acinzentado, seco.	
	0,60 -1,40	Areia fina, com silte, marrom avermelhado, seco.	
	1,40 -2,40	Areia fina, com silte, avermelhado claro, seco.	
	2,40 -2,70	Areia fina, com silte, avermelhado claro, pouco úmido, com pequenos frangimentos de rocha.	
		<p>Furo - 18,50 na borda do aluvião. 0,50 +4,60 - 1º furo do ensaio Largura total: 100m Fotos -299 /298</p>	

**FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO**

Furo nº 03 - A		Localidade:	
Data: 11/04/06	Profundidade: 1,00		Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 511774 9495986			Cota do Terreno:
Perfil Nº 4 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,00	Areia média à fina, vermelho amarelado, pouco úmido.	
		Fotos -288/ 289/ 290/ 287	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 03 - B		Localidade	
Data: 12/04/06		Profundidade: 1,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 502459 9498010			Cota do Terreno:
Perfil Nº 5 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,00	Areia, amarelada, pouco úmida.	
		Foto -280	

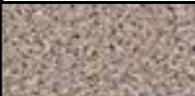
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº04	Localidade:	
Data:	Profundidade: 1,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 508216 9488262		Cota do Terreno:
Perfil Nº 6 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 -0,20	Areia fina, seca.
	0,20 -0,30	Areia fina com argila, seca, com formação de pequenos agregados.
	0,30 -0,90	Areia fina, limpa, seca.
	0,90 -1,00	Areia fina com nódulos de argila, pouco úmida.
		Fotos -274 /275

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 05		Localidade: Choros	
Data: 12/04/06		Profundidade: 1,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 514545 9490953			Cota do Terreno:
Perfil Nº 7 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,30	Areia fina, limpa, clara, pouco úmida.	
	0,30 -0,55	Areia fina, limpa, clara, pouco mais úmida.	
	0,55 -0,75	Areia fina, limpa, clara, úmida, com pouca argila.	
	0,75 -0,89	Areia mais argila, escura, úmida.	
	0,89 -1,00	Areia, limpa, úmida.	
		Gps -311 Fotos -270 à 273	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 07 - A		Localidade: Lagoa Nova	
Data: 17/05/06		Profundidade: 3,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 524294**** 9500729			Cota do Terreno:
Perfil Nº 9 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,80	Areia fina, com silte, marrom claro, pouco úmida, matéria orgânica.	
	0,80 -1,40	Areia média, amarela clara, pouca úmida, com cascalho e seixos (de 0,5 a 4,0 cm de diâmetro).	
	1,40 -3,30	Areia grossa, amarelada escura, saturada , com cascalho e seixos.	
		Fotos -35 /36 de 101 ou 374 a 380	

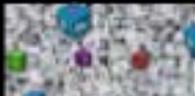
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº08 - A		Localidade: Boa Vista	
Data: 18/05/06		Profundidade: 2,80	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 523727 9496833			Cota do Terreno:
Perfil Nº 11 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,30	Areia fina, marrom clara, úmida.	
	0,30 -0,80	Areia média, com cascalho, amarela clara, pouco úmida.	
	0,80 -1,10	Areia média, com cascalho, marrom média, pouco úmida.	
	1,10 -1,70	Areia média, com cascalho, marrom clara, pouco úmida à seca.	
	1,70 -2,40	Areia média, marrom acinzentada, úmida, com silte e argila.	
	2,40 -2,80	Areia média, cinza escuro, com silte e argila, presença de cascalho e fragmentos de rochas.	
	2,80	Cristalino com aproximação de 3 cm da água.	
		Foto -383 /384 Existe informação sobre a largura.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 09 - A		Localidade: Lagoa Nova 02	
Data: 18/05/06		Profundidade: 2,70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 524364 9500739			Cota do Terreno:
Perfil Nº 13 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,10	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	1,10 -1,70	Areia fina, amarela clara com manchas avermelhada, pouco úmida.	
	1,70 -2,10	Areia média, amarela escura, úmida, com seixos (0,5 à 3,0 cm de diâmetro)	
	2,10 -2,70	Areia grossa cascalhenta, amarela escura, saturada , com seixos.	
		Teste interrompido por impossibilidade de perfuração (pedras ou cristalino). Fotos -392 / 393	
		Existe informação de largura.	

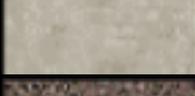
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 09 -B		Localidade: Lgoa Nova 02	
Data: 18/05/06		Profundidade: 2,80	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 524364 9500739			Cota do Terreno:
Perfil Nº 14 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,55	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,55 -1,30	Areia fina, amarela clara, pouco úmida.	
	1,30 -1,70	Areia média, amarela escura, úmida.	
	1,70 -2,80	Areia grossa cascalhenta, marrom escura, saturada.	
		Teste interrompido por impossibilidade de perfuração (pedras ou cristalino).	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº09 -C		Localidade: Lgoa Nova 02	
Data: 18/05/06		Profundidade: 1,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 524364 9500739			Cota do Terreno:
Perfil Nº 15 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,46	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
	0,46 -0,70	Areia média, amarelo claro, pouco úmida.	
	0,70 -1,00	Areia média com presença de silte, marrom escuro, pouco úmida.	
		Foto -397 / 398	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº10 -B	Localidade: Bico da Arara	
Data: 19/05/06	Profundidade: 6,50	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 508217 9488282		Cota do Terreno:
Perfil Nº 17 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 -0,72	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.
	0,72 -1,38	Areia média, marrom clara, pouco úmida.
	1,38 -2,35	Areia média, com silte, marrom escura, úmida.
	2,35 -3,15	Areia siltosa, marrom escura, úmida.
	3,15 -3,65	Areia fina, amarela escura, saturada , com cascalho.
	3,65 -4,30	Areia fina siltosa, cinza clara, saturada .
	4,30 -4,70	Areia média siltosa, cinza clara, saturada .
	4,70 -5,50	Areia grossa, cinza clara, saturada .
	5,50 -6,50	Areia grossa, cascalhenta, branca acinzentada, saturada .
		Fotos – 400 a 416 Obs: Tratagem interrompida por problemas diversos. Existe informação de largura.

**FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO**

Furo nº 11 -B		Localidade: Poço da Tábua	
Data: 22/05/06		Profundidade: 2,81	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 511780 9495988			Cota do Terreno:
Perfil Nº 19 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,45	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,45 -0,94	Areia média, amarela clara, pouco úmida.	
	0,94 -1,24	Areia média com pouco silte, marrom clara, pouco úmida.	
	1,24 -1,68	Areia média, marrom clara, pouco úmida.	
	1,68 -2,81	Areia grossa cascalhenta, marrom avermelhada, úmida (até 2,05 e a partir daí saturada).	
		Fim da sondagem (rocha).	
		Fotos -580 /579	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 11 -C		Localidade: Poço da Tábua	
Data: 22/05/06		Profundidade: 2,70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 511780 9495988			Cota do Terreno:
Perfil Nº 20 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,45	Areia fina, com seixos, marrom claro, pouco úmida.	
	0,45 -1,28	Areia média, amarelo claro, pouco úmida.	
	1,28 -1,80	Areia fina, com silte, marrom claro, pouco úmida.	
	1,80 -2,30	Areia média, amarela clara, pouco úmida.	
	2,30 -2,70	Areia grossa cascalhenta, marrom avermelhada, saturada.	
		Foto -274 Informações extras abaixo da ficha.	

**FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO**

Furo nº 12 - A		Localidade: Fazenda Velha	
Data:		Profundidade: 1,71	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 514073 9495873			Cota do Terreno:
Perfil Nº 21 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,28	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
	0,28 -1,20	Areia fina, com argila, marrom clara, úmida.	
	1,20 -1,71	Areia fina, com material puro parecido com piçarro, marrom acinzentado, saturado.	
		Fotos -583 /584 /585	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 12 -B		Localidade: Fazenda Velha	
Data:		Profundidade: 2,17	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 514073 9495873			Cota do Terreno:
Perfil Nº 22 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,27	Areia fina, com argila, marrom escura, pouco úmida.	
	1,27 -1,94	Areia média, com cascalho, marrom escura, úmida.	
	1,94 -2,17	Areia média, marrom amarelado, saturado.	
		Fotos -583 /584 /585	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 13 - A	Localidade: Lázaro	
Data: 23/05/06	Profundidade: 5,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 518513 9493751		Cota do Terreno:
Perfil Nº 24 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 -0,80	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.
	0,80 -1,40	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.
	1,40 -1,90	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.
	1,90 -3,30	Areia fina, marrom clara, úmida.
	3,30 -5,30	Areia grossa cascalhenta, amarelo esbranquiçada, saturada , com seixos.
		Foto -601 Informações extras abaixo da ficha.

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 13 -B		Localidade: Lázaro	
Data: 23/05/06		Profundidade: 1,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 518513 9493751			Cota do Terreno:
Perfil Nº 25 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,56	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,56 -1,00	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
		Foto -602	

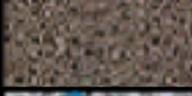
**FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO**

Furo nº 14 -A	Localidade: Itâns	
Data: 24/05/06	Profundidade: 5,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 514506 9490955		Cota do Terreno:
Perfil Nº 26 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 -0,60	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.
	0,60 -2,60	Argila com areia fina, marrom acinzentada, úmida.
	2,60 -2,80	Areia fina, marrom clara, úmida.
	2,80 -3,50	Silte com areia fina, marrom escura, úmida.
	3,50 -4,10	Areia fina, marrom escura, saturada.
	4,10 -530	Areia grossa cascalhenta, amarela clara, saturada, com seixos.
		Fotos – 624 a 629

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 15 - A		Localidade: Juá	
Data:		Profundidade: 5,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 501550 9477656			Cota do Terreno:
Perfil Nº 28 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,74	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,74 -3,70	Areia fina, com pouco silte, marrom avermelhada, pouco úmida.	
	3,70 -4,05	Areia fina cascalhenta, marrom escura, úmida.	
	4,05 -4,96	Areia fina cascalhenta, marrom escura, saturada.	
	4,96 -5,30	Areia grossa cascalhenta, com seixos, amarela escura, saturada.	
		Fotos - / 639 / 643	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 16 - A		Localidade: Poço Comprido	
Data: 26/05/06		Profundidade: 4,10	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 505149 9483042			Cota do Terreno:
Perfil Nº 30 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,40 -0,77	Areia fina, com pouca argila, marrom escura, pouco úmida.	
	0,77 -2,44	Solo franco argiloso, preto acinzentado, úmido.	
	2,44 -4,10	Areia média a grossa, com seixos, saturada (4 cm ce diâmetro)	
		Fotos - 645 / 646/ 647/ 649/651/652/ 653 /654	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 17 - A		Localidade: Riacho da Várzea	
Data: 05/06/06		Profundidade: 1,40	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 510095 9484590			Cota do Terreno:
Perfil Nº 32 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,79	Areia média cascalhenta, com argila, marrom escura, pouco úmida.	
	0,79 -1,20	Piçarra, amarela clara, pouco úmida.	
	1,20 -1,40	Piçarra, amarela clara, saturada.	
		Profundidade da lança no leiro do Riacho da Várzea =2,50 m Fotos 788 / 789 Aluvião irregular Informações sobre a largura.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 17 - B		Localidade: Riacho da Várzea	
Data: 05/06/06		Profundidade: 1,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 510095 9484590			Cota do Terreno:
Perfil Nº 33 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,70	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,79 -1,20	Areia fina, com cascalho e pouca argila, marrom escura, úmida.	
		Foto - 787	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº18 - A		Localidade: Várzea	
Data: 06/06/06		Profundidade: 1,52	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 512690 9476835			Cota do Terreno:
Perfil Nº 34 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,86	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
	0,86 -1,30	Areia média cascalhenta, com seixos, marrom clara, saturada.	
	1,30 -1,52	Areia média muito cascalhenta, com seixos, marrom clara, saturada.	
		Informações sobre a largura.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº18 -B		Localidade: Várzea	
Data: 06/06/06		Profundidade: 1,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 512690 9476835		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 35 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,00	Areia fina, marrom escura, pouco úmida a úmida.	
		Informações sobre a largura.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 19 - A		Localidade: Triunfo	
Data: 07/06/06		Profundidade: 4,28	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 527593 9476745			Cota do Terreno:
Perfil Nº 36 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,70	Argila (tipo 1), marrom escura, pouco úmida.	
	0,70 -1,58	Argila (tipo 2), marrom clara, pouco úmida.	
	1,58 -4,28	Argila (tipo3), marrom clara a cinza, saturada (em 3,73).	
		Informações sobre a largura. 5 m de da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 19 -B		Localidade: Triunfo	
Data: 07/06/06		Profundidade: 3,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 527593 9476745			Cota do Terreno:
Perfil Nº 37 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,50	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	1,50 -2,00	Areia fina, com argila, marrom escura, pouco úmida.	
	2,00 -2,70	Areia média, marrom clara, saturada.	
	2,70 -3,10	Areia média, amarela clara, saturada.	
	3,10 -3,30	Argila, com areia média, cinza azulada, saturada.	
		Informações sobre a largura. 15 m da calha.	

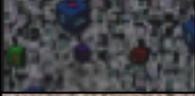
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 21		Localidade: Bico da Arara	
Data: 09/06/06	Profundidade: 6,20	Diâmetro: 0,14 m	
Coordenadas: 508212 9488277		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 42 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	3,60	Areia média, amarela clara, úmida.	
	3,60 -4,40	Areia média, cinza, saturada.	
	4,40 -6,20	Areia grossa, cinza clara a amarela clara, saturada.	
		No leito do rio a lança perfurou 1,42 m; A lança sem a camisa = lança com camisa=6,20	

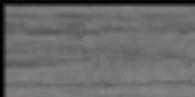
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 22 - A		Localidade: Fazenda Flora	
Data: 12/06/06	Profundidade: 3,60	Diâmetro: 0,14 m	
Coordenadas: 505521 9461915		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 43 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
	0,40 -0,85	Areia média, marrom clara, úmida.	
	0,85 -1,10	Areia média, com argila, marrom clara, úmida.	
	1,10 -2,80	Areia média, com argila, cinza clara, úmida.	
	2,80 -3,60	Areia fina, com argila, cinza clara, saturada.	
		Areia indefinida para medição de aluvião, aparentando 20m.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 23 - A		Localidade: Riacho Barro Vermelho	
Data: 13/06/06		Profundidade: 2,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 506598 9457562			Cota do Terreno:
Perfil Nº 45 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,50	Areia média, com argila, marrom escura, pouco úmida.	
	0,50 -1,05	Argila arenosa, marrom escura, úmida.	
	1,05 -1,50	Areia grossa, com argila, marrom clara, úmida.	
	1,50 -2,30	Areia média a grossa, marrom clara, saturada.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 23 - B		Localidade: Riacho Barro Vermelho	
Data: 13/06/06		Profundidade: 2,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 506598 9457562			Cota do Terreno:
Perfil Nº 46 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,50	Areia média, com argila, marrom escura, pouco úmida.	
	0,50 -1,00	Argila arenosa, marrom clara, úmida.	
	1,00 -2,30	Areia grossa, com cascalho, marrom clara, saturada.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 23 -C		Localidade: Riacho Barro Vermelho	
Data: 13/06/06		Profundidade: 1,00(slug)	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 506598 9457562			Cota do Terreno:
Perfil Nº 47 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,00	Areia fina a média, com argila, marrom escura, úmida.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

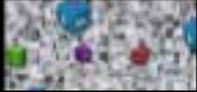
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 24 -A		Localidade: Várzea Redonda	
Data: 14/06/06		Profundidade: 3,60	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 513873 9472354			Cota do Terreno:
Perfil Nº 48 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,95	Areia fina a média, com argila, marrom clara, pouco úmida.	
	0,95 -1,90	Argila quase pura, preta, úmida.	
	1,90 -3,60	Argila, com areia média, marrom acinzentada, saturada.	
			Informações sobre a largura. 14 m da calha.

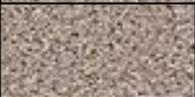
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 24 - B		Localidade: Várzea Redonda	
Data: 14/06/06		Profundidade: 1,00(slug)	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 513873 9472354			Cota do Terreno:
Perfil Nº 49 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, marrom escura, úmida.	
	0,40 -0,72	Areia média, com argila e cascalho, marrom clara, pouco úmida.	
	0,72 -1,00	Argila, com areia média, cascalhenta, marrom escura, pouco úmida.	
		Informações sobre a largura.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 25		Localidade: Nova Olinda	
Data: 15/06/06		Profundidade: 1,97	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 506923 9454610			Cota do Terreno:
Perfil Nº 50 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,91	Areia fina, com argila, marrom escura, úmida.	
	0,91 -1,77	Areia fina, com silte, marrom clara, saturada.	
	1,77 -1,97	Areia grossa, com cascalho, marrom escura, saturada.	
		Informações sobre a largura. 15 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 26 -A		Localidade: Faz. Casa Forte	
Data: 15/06/06	Profundidade: 3,80	Diâmetro: 0,14 m	
Coordenadas: 510495 9456537		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 51 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,30	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
	1,30 -1,60	Areia fina, marrom clara, úmida.	
	1,60 -2,00	Areia média, amarela escura, úmida.	
	2,00 -2,70	Areia grossa, com cascalho e seixos, cinza claro, saturada.	
		Passagem de barro aos 3,50 m Informações sobre a largura. 15 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 26 -B	Localidade: Faz. Casa Forte	
Data: 15/06/06	Profundidade: 1,00(slug)	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 510495 9456537		Cota do Terreno:
Perfil Nº 52 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 -0,60	Areia fina, com argila, marrom escura, úmida.
	0,60 -1,00	Areia fina, marrom clara, úmida.
		Informações sobre a largura. 20 m da calha.

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 28 - A		Localidade: Cajueiro	
Data: 10/07/06		Profundidade: 2,70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 532411 9483790			Cota do Terreno:
Perfil Nº 55 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,70	Areia fina, marrom clara, úmida.	
	0,70 -1,00	Areia fina, marrom escura, saturada .	
	1,00 -1,70	Argila arenosa, marrom acinzentada.	
	1,70 -2,70	Areia grossa, cinza escura, saturada , com cascalho e fragmentos de pedra cristalina.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 29 - A		Localidade: Humaitá	
Data: 11/07/06		Profundidade: 3.70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 541978 9480940			Cota do Terreno:
Perfil Nº 57 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -2,70	Areia fina, amarela a branca, seca.	
	2,70 -3,30	Areia média, marrom clara, pouco úmida.	
	3,30 -3,70	Areia grossa, com cascalho e seixos, marrom escura, saturada .	
		Informações sobre a largura. 7 m da calha.	

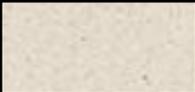
**FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO**

Furo nº 29 - B		Localidade: Humaitá	
Data: 11/07/06		Profundidade: 1,00(slung)	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 541978 9480940			Cota do Terreno:
Perfil Nº 58 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,00	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 31 - A		Localidade: Macacos	
Data: 13/07/06		Profundidade: 3,50	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 535690 9474278			Cota do Terreno:
Perfil Nº 60 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,20	Areia fina, marrom clara, seca.	
	1,20 -1,60	Areia média, amarela clara, seca.	
	1,60 -2,00	Areia fina, com pouca argila, marrom escura, saturada.	
	2,00 -2,30	Areia média, amarela clara, saturada.	
	2,30 -3,10	Areia grossa, com cascalho e seixos, amarela escura, saturada.	
	3,10 -3,50	Argila arenosa, marrom acinzentada, saturada.	
		Informações sobre a largura. 5 m da calha.	

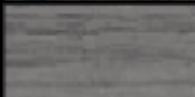
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 32 - A		Localidade: Nova Vida	
Data: 13/07/06		Profundidade: 2,80	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 550060 9474322			Cota do Terreno:
Perfil Nº 62 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,00	Areia fina, amarela a branca, seca.	
	1,00 -1,70	Areia média cascalhenta, pouco úmida.	
	1,70 -2,80	Areia grossa cascalhenta, com seixos, avermalhada, saturada .	
		Informações sobre a largura. 3 m da calha.	

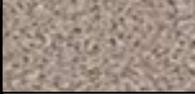
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 32 - B		Localidade: Nova Vida	
Data: 13/07/06		Profundidade: 2,80	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 550060 9474322		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 63 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,30	Areia fina, marrom escura, seca.	
	0,30 -1,60	Areia média, marrom clara, pouco úmida a úmida.	
	1,60 -2,80	Areia grossa, com seixos, amarela avermelhada, saturada.	
			Informações sobre a largura. 5 m da calha.

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 33 - A		Localidade: Sitio Trapiá	
Data: 14/07/06		Profundidade: 3,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 531030 9464527			Cota do Terreno:
Perfil Nº 65 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,70	Areia fina, avermelhada branca, seca.	
	0,70 -1,60	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	1,60 -2,50	Areia fina, com pouca argila, marrom clara, úmida.	
	2,25 -2,50	Areia grossa cascalhenta, com argila, marrom avermelhada, saturada.	
	2,50 -3,00	Argila arenosa, cinza clara, saturada.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

**FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO**

Furo nº 33 - B	Localidade: Sitio Trapiá	
Data: 14/07/06	Profundidade: 2,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 531030 9464527		Cota do Terreno:
Perfil Nº 66 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 -0,50	Areia fina, marrom clara, seca.
	0,50 -2,30	Areia fina, marrom escura, úmida.
		Final de sondagem: quebra de equipamento.

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 34 - A		Localidade: Massapê	
Data: 17/07/06		Profundidade: 3,50	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 535658 9460171			Cota do Terreno:
Perfil Nº 68 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,60	Areia fina, marrom clara, seca.	
	0,60 -0,90	Areia média, marrom clara, seca.	
	0,90 -1,30	Argila arenosa, cinza escura, úmida.	
	1,30 -2,80	Areia grossa, com argila, amarela avermelhada, saturada.	
	2,80 -3,50	Argila arenosa, marrom acinzentada, saturada.	
		Informações sobre a largura. 3,0 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 35 – A		Localidade: Canafístula	
Data: 18/07/06		Profundidade: 2,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 540305 9466835			Cota do Terreno:
Perfil Nº 70 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,60	Areia fina, amarela avermelhada, seca.	
	0,60 -0,80	Areia fina, com pouca argila, marrom avermelhada, pouco úmida.	
	0,80 -1,80	Areia média, com argila, marrom acinzentada, úmida.	
	1,80 -2,00	Areia média, com argila, cinza clara, saturada.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 36 - A		Localidade: Extrema	
Data: 18/07/06		Profundidade: 3,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 543034 9465731			Cota do Terreno:
Perfil Nº 72 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,50	Areia fina, branca a amarela, pouco úmida a úmida.	
	1,50 -2,10	Areia média, com argila, cinza clara, úmida.	
	2,10 -2,80	Areia grossa, amarela clara, saturada.	
	2,80 -3,00	Argila arenosa, cinza escura, saturada.	
		Informações sobre a largura.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 37 – A		Localidade: Retiro	
Data: 19/07/06		Profundidade: 1,70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 551327 9467607			Cota do Terreno:
Perfil Nº 74 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,60	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,60 -1,00	Areia fina, marrom clara, úmida.	
	1,00 -1,40	Areia fina, marrom acinzentada, saturada.	
	1,40 -1,70	Areia grossa cascalhenta, com seixos, cinza escura, saturada.	
		Informações sobre a largura. 5 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 38 - A		Localidade: Jardim	
Data: 19/07/06		Profundidade: 3,20	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 551788 9459468			Cota do Terreno:
Perfil Nº 76 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,50	Areia fina, branca, seca.	
	0,50 -1,30	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	1,30 -1,90	Areia com argila, marrom escura, úmida.	
	1,90 -2,80	Argila com areia, marrom acinzentada, saturada.	
	2,80 -2,95	Argila, cinza azulada, saturada.	
	2,90 -3,20	Areia grossa cascalhenta, com seixos, amarela escura, saturada.	
		Informações sobre a largura. 30 m da calha.	

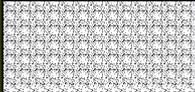
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 39 – A		Localidade: Viçosa	
Data: 20/07/06		Profundidade: 1,60	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 549337 9450391			Cota do Terreno:
Perfil Nº 78 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,70	Areia fina, amarela escura, pouco úmida.	
	0,70 -1,00	Areia fina, marrom acinzentada, úmida.	
	1,00 -1,60	Areia grossa, cinza escura, saturada.	
		Informações sobre a largura. 20 m da calha.	

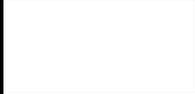
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 40 - A		Localidade: Horinzonte Contendas	
Data: 20/07/06		Profundidade: 2,60	Diâmetro: 0,14 m
Coordenada: 546070 9455858			Cota do Terreno:
Perfil Nº 80 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,30	Areia fina, amarela clara, seca.	
	1,30 -2,35	Areia fina, amarela escura, saturada.	
	2,30 -2,60	Areia grossa cascalhenta, com seixos, amarela escura, saturada.	
		Informações sobre a largura. 20 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 41 -A		Localidade: Siriema	
Data: 21/07/06		Profundidade: 2,00	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 534781 9449490			Cota do Terreno:
Perfil Nº 82 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, marrom clara, seca.	
	0,40 -0,60	Areia média, amarela escura, pouco úmida.	
	0,60 -1,00	Argila arenosa, marrom acinzentada, pouco úmida.	
	1,00 -2,00	Areia grossa, marrom escura, saturada.	
		Informações sobre a largura. 15 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 42		Localidade: Córrego do Facó	
Data: 27/11/06		Profundidade: 2,20	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 540572 9494177			Cota do Terreno:
Perfil Nº 84 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,27	Areia fina, com argila, cinza claro, seca.	
	0,27 -0,72	Areia fina, com argila, marrom claro, pouco úmida.	
	0,72 -1,05	Areia fina, marrom, pouco úmida.	
	1,05 -1,36	Areia fina, marrom, úmida.	
	1,36 -1,64	Areia fina, limpa, marrom claro, úmida.	
	1,64 -1,87	Areia média, com cascalho, úmida.	
	1,87 -2,20	Argila, cinza claro esverdeada, úmida.	
		Informações sobre a largura.	

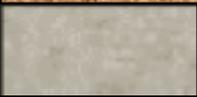
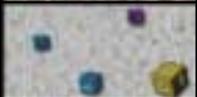
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 44		Localidade: Curupira	
Data: 28/11/06		Profundidade: 2,05	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 549682 9499717			Cota do Terreno:
Perfil Nº 86 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, cinza clara, pouco úmida.	
	0,40 -0,78	Areia fina, cinza, pouco úmida, com fragmentos amarelados.	
	0,78 -1,37	Argila (salão), azulada, pouca umidade.	
	1,37 -2,05	Argila (salão), azulada, seca, com fragmentos amarelados.	
			
		Obs: saturação em 1,90 cm Informações sobre a largura.	

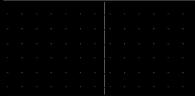
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 45		Localidade: Estrada para Cristais	
Data:	Profundidade: 1,90	Diâmetro: 0,14 m	
Coordenadas: 554772 9496875		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 87 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,20	Areia fina, amarelo claro, seca.	
	0,20 -0,30	Areia com material orgânico, marrom.	
	0,30 -1,00	Areia fina, cinza, pouco úmida.	
	1,00 -1,50	Areia fina, com pouca argila, cinza, muito úmida.	
	1,50 -1,90	Areia fina, cinza, saturada , com nódulos amarelados.	
		Obs: saturação em 1,70 cm	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 46		Localidade:	
Data:	Profundidade: 2,80	Diâmetro: 0,14 m	
Coordenadas: 554772 9496875		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 88 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,24	Areia fina, amarela, seca.	
	0,24 -0,40	Areia fina, com argila, amarelada, seca, com óxido de ferro.	
	0,40 -0,66	Areia média a fina, com argila, cinza, pouco úmida.	
	0,66 -1,07	Areia média a fina, com argila, cinza, pouco úmida.	
	1,07 -1,68	Areia média a fina, com mais argila, cinza amarelada, úmida.	
	1,68 -2,08	Areia média, com mais argila, cinza, saturada.	
	2,08 -2,27	Areia média, com mais argila, cinza, bem saturada.	
	2,27 -2,46	Areia média, com cascalho e pouca argila.	
	2,46 -2,80	Areia média e grossa, com cascalho e pedregulho, cinza escuro.	
		Informações sobre a largura.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 48		Localidade: Arisco	
Data:	Profundidade:	Diâmetro: 0,14 m	
Coordenadas: 550258 948897		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 90 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,23	Areia fina, com argila, amarronzada, seca.	
	0,23 -0,47	Areia fina, com argila, amarronzada escura, seca.	
	0,47 -1,19	Argila (salão), cinza escura, pouco úmida.	
	1,19 -1,45	Argila (salão), cinza escura, seca (pouco úmida).	
	1,45 -1,68	Argila (salão), cinza escura mais avemelhada, seca (pouco úmida).	
	1,68 -2,85	Argila, avermelhada, úmida, com nódulos cinza.	
			
			
			
			
			
		Informações extras abaixo.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 49		Localidade:	
Data:	Profundidade: 3,69	Diâmetro: 0,14 m	
Coordenadas: 530336 9499816		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 91 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,27	Areia fina, com argila, marrom, seca.	
	0,27 -0,90	Areia fina a média, com argila, amarronzada, seca.	
	0,90 -1,34	Areia média a grossa, clara com tons avermelhada, pouco úmida.	
	1,34 -1,85	Areia fina a média, clara, pouco úmida.	
	1,85 -2,15	Areia fina a média, clara, úmida.	
	2,15 -2,37	Areia média a grossa, clara, úmida.	
	2,37 -2,82	Areia média a grossa, clara, mais úmida.	
	2,82 -3,04	Areia grossa a média, cinza, com fragmentos.	
	3,04 -3,69	Areia grossa, com cascalho, vermelha, saturada.	
		Informações extras abaixo.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 50	Localidade:	
Data:	Profundidade: 1,30	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 535296 9492912		Cota do Terreno:
Perfil Nº 92 - Descrição do Furo		
Perfil	Metragem (m)	Descrição
	0,00 -0,75	????
	0,75 -1,30	Areia média a grossa, pouco úmida, com fragmentos e seixos.
		Informações extras abaixo.

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 51		Localidade:	
Data:		Profundidade:	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 517561 9466621			Cota do Terreno:
Perfil Nº 93 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,17	Areia fina e argila, clara, seca (material endurecido).	
	0,17 -0,44	Areia fina, com pouca argila, marrom clara, seca.	
	0,44 -0,72	Areia fina a média, marrom, seca, com poucos fragmentos.	
	0,72 -0,96	Areia média, marrom avermelhada, pouco úmida, com fragmentos.	
	0,96 -1,22	Areia média a grossa com cascalho, avermelhada, úmida.	
	1,22 -1,61	Argila (salão), com pouca areia fina, marrom escura, seco.	
		Informações extras abaixo.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 52		Localidade: Santa Maria	
Data: 08/12/06		Profundidade: 1,75	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 519165 9450192			Cota do Terreno:
Perfil Nº 94 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,70	Areia fina, cinza clara, seca.	
	0,70 -1,40	Areia média casacalhenta, branca a bege, seca.	
	1,40 -1,75	Areia fina, com argila, cinza clara, seca.	
			Informações sobre a largura. m da calha.

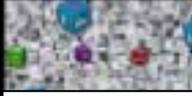
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 53 - A		Localidade: Campo Grande	
Data: 07/12/06		Profundidade: 2,70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 521649 9454641			Cota do Terreno:
Perfil Nº 95 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, branca a bege, seca.	
	0,40 -0,80	Areia fina, marrom clara, seca.	
	0,80 -1,00	Argila, com areia, cinza escura, pouco úmida.	
		Informações sobre a largura. m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 54 - A		Localidade: Faz. São Francisco	
Data: 07/12/06		Profundidade: 2,10	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 505558 9452056			Cota do Terreno:
Perfil Nº 97 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Argila, com areia fina, marrom clara, seca.	
	0,40 -0,80	Argila, com areia média, cinza escura, pouco úmida.	
	0,80 -1,40	Argila, cinza clara, úmida.	
	1,40 -2,10	Argila, cinza clara, úmida a saturada (1,40 m).	
		Informações sobre a largura. 20 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 55 - A		Localidade: Guaribas	
Data: 06/12/06		Profundidade: 1,88	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 530486 9457503			Cota do Terreno:
Perfil Nº 99 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, marrom escuro, pouco úmido.	
	0,40 -0,85	Areia fina, com argila, marrom escura, úmida.	
	0,85 -1,88	Areia grossa cascalhenta, marrom clara amarelada, saturada , com seixos e fragmentos de rocha.	
		Informações sobre a largura. No meio da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 56		Localidade: Riacho Salgado	
Data: 04/12/06		Profundidade: 3,70	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 507415 9458105			Cota do Terreno:
Perfil Nº 101 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,90	Mterial argiloso, preta, pouco úmida.	
	0,90 -1,45	Argila, com areia fina, cinza escura, úmida.	
	1,45 -2,60	Argila arenosa, cinza clara, saturada.	
	2,60 -3,50	Areia fina cascalhenta, com argila, cinza azulada, saturada.	
	3,50 -3,70	Areia média cascalhenta, com pouca argila, cinza azulada, saturada.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº57		Localidade: Vargem da Onça	
Data: 05/12/06	Profundidade: 2,15		Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 514346 9454029			Cota do Terreno:
Perfil Nº 102 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -1,00	Areia fina, com argila, marrom clara, seca.	
	1,00 -1,20	Areia fina, com argila, marrom clara, seca.	
	1,20 -1,80	Areia grossa, com cascalho e seixos, amarela clara, seca.	
	1,80 -2,15	Areia grossa, com cascalho e seixos, cinza escura, seca.	
		Informações sobre a largura. No meio da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 58 -A		Localidade: Riacho Infrno Velho	
Data: 06/012/06		Profundidade: 1,80	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 519910 9461885		Cota do Terreno:	
Perfil Nº 103 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,50	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
	0,50 -0,73	Areia média, cinza clara, pouco úmida.	
	0,73 -0,84	Areia grossa, com cascalho, cinza clara, pouco úmida.	
	0,84 -1,30	Areia grossa, com argila, cinza escura, úmida.	
		Informações sobre a largura. 4 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 59 - A		Localidade: Vila Rica	
Data: 06/12/06		Profundidade: 1,20	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 525462 9455068			Cota do Terreno:
Perfil Nº 105 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Areia fina, branca a bege, seca.	
	0,40 -0,60	Areia fina, com argila, marrom clara, seca.	
	0,60 -1,20	Areia fina, branca, seca.	
		Informações sobre a largura. 3 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 59 - C		Localidade: Vila Rica	
Data: 06/12/06		Profundidade: 1,00(slug)	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 525462 9455068			Cota do Terreno:
Perfil Nº 107 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,45	Areia fina, marrom clara, seca.	
	0,45 -1,00	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
			Informações sobre a largura. 3 m da calha.

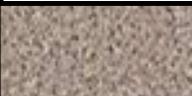
FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 60 - A		Localidade: Virgem da Onça	
Data: 05/12/06		Profundidade: 3,40	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 514924 9453602			Cota do Terreno:
Perfil Nº 108 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,30	Areia fina, cinza clara, seca.	
	0,30 -1,25	Areia fina, marrom clara, seca.	
	1,25 -1,80	Areia fina, bege, pouco úmida.	
	1,80 -2,70	Areia média, com argila, marrom escura, úmida.	
	2,70 -3,40	Areia fina a média, cinza escura, saturada.	
		Informações sobre a largura. 10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 61 -A		Localidade: Faz. Cruz das Almas	
Data: 05/12/06		Profundidade: 1,80	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 511119 9460691			Cota do Terreno:
Perfil Nº 110 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,20	Areia fina, marrom clara, seca.	
	0,20 -1,10	Areia média a grossa cascalhenta, amarela clara, seca.	
	1,10 -1,50	Areia média, com cascalho e argila, cinza clara, seca.	
	1,50 -1,80	Argila arenosa, com cascalho, cinza escura, seca.	
		Informações sobre a largura. 2 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo 67		Localidade: Faz. São Francisco	
Data: 19/03/07		Profundidade: 1,89	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 541411 9454037			Cota do Terreno:
Perfil Nº 113 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,60	Areia fina, marrom clara, pouco úmida.	
	0,60 -1,10	Areia fina, marrom clara, úmida.	
	1,10 -1,55	Areia fina, marrom acinzentada, úmida.	
	1,55 -1,89	Areia grossa cascalhenta, com seixos, cinza escura, saturada.	
		10 m da calha.	

FURO Nº
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 63		Localidade: Faz. Barra Funda	
Data: 07/03/07		Profundidade: 1,20	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 52338 9486672			Cota do Terreno:
Perfil Nº 116 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,40	Argila, com areia fina, marrom clara, seca.	
	0,40 -0,78	Areia fina, com argila, marrom escura, úmida.	
	0,78-1,20	Areia grossa cascalhenta, marrom clara amarelada.	
			Informações sobre a largura. 20 m da calha.

FURO Nº 62
PERFIL DE SONDAGEM
FICHA DE CAMPO

Furo nº 62		Localidade: Riacho fundo	
Data: 06/06/076		Profundidade: 1,98	Diâmetro: 0,14 m
Coordenadas: 520555 9481265			Cota do Terreno:
Perfil Nº 117 - Descrição do Furo			
Perfil	Metragem (m)	Descrição	
	0,00 -0,35	Areia fina, marrom escura, pouco úmida.	
	0,35 -0,53	Areia média, cinza clara, pouco úmida.	
	0,53 -0,97	Areia média, com areia grossa, cinza clara, pouco úmida.	
	0,84 -1,98	Areia grossa, com argila, cinza escura, úmida.	
		Informações sobre a largura. 4 m da calha.	

ANEXO II – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE

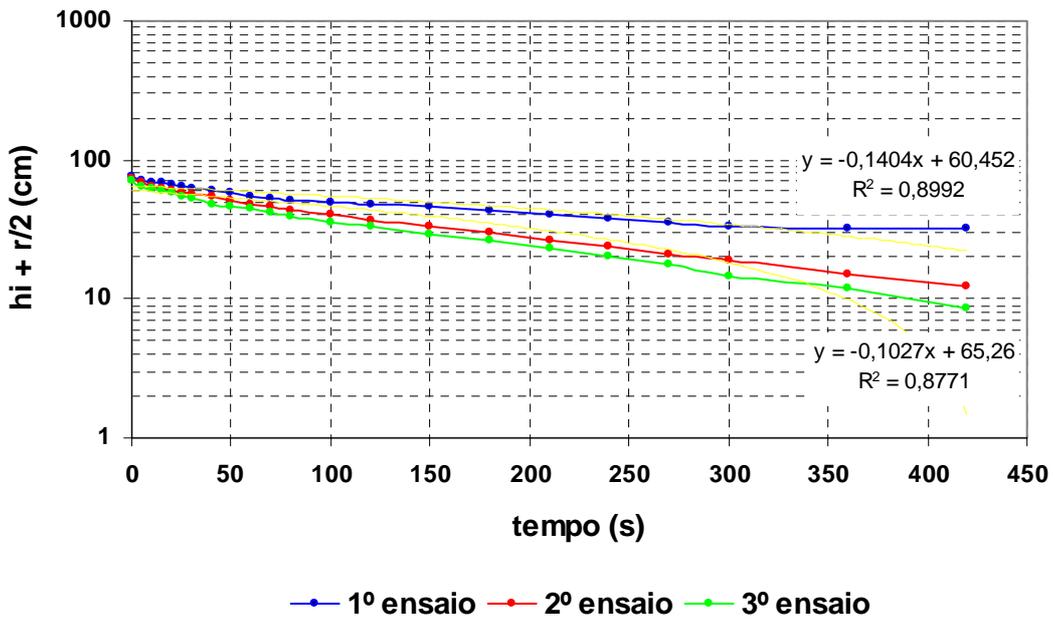
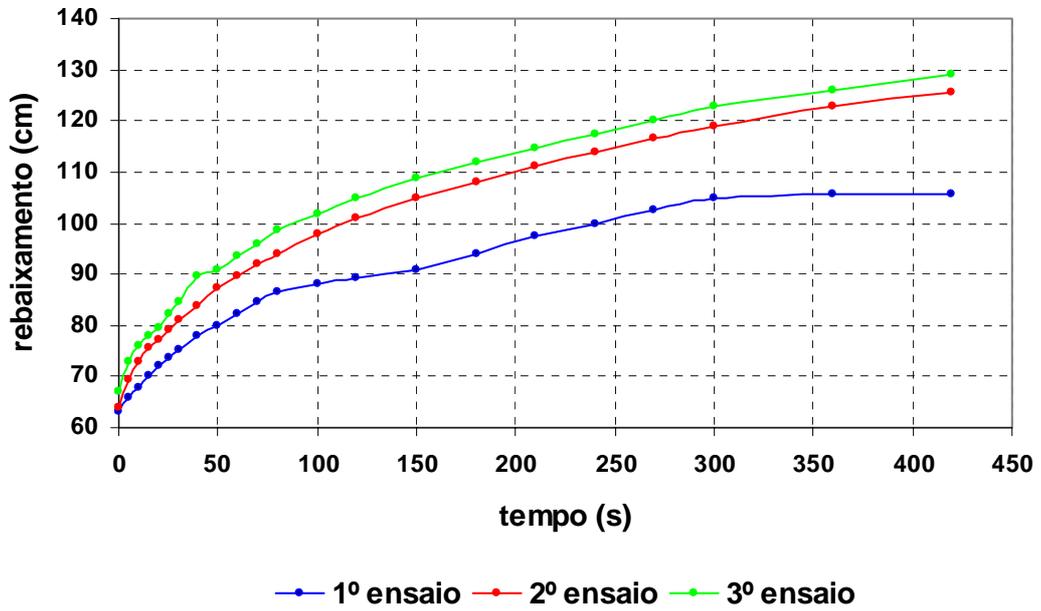
FICHAS, GRÁFICOS E RESULTADOS

FICHA DE CAMPO – POÇO INVERTIDO
Furo Nº 01

Raio – r (cm): 7,0									
Altura da haste – T (cm):53,3									
Distância do fundo do poço a haste – H (cm): 136,0									
Profundidade do poço – P = H - T (cm): 82,7									
Nível estático em relação a haste – h'o (cm):63,0									
Coluna d'água no poço – ho = H - h'o (cm): 73,0									
Leituras									
1º ensaio			2º ensaio			3º ensaio			
t		h'i(cm)	hi (cm)	t (s)	h'i(cm)	hi (cm)	t (s)	h'i(cm)	hi (cm)
m	s								
	0	63,0	73,0	0	64,0	72,0	0	67,0	69,0
	5	66,0	70,0	5	69,5	66,5	5	73,0	63,0
	10	68,0	68,0	10	73,0	63,0	10	76,0	60,0
	15	70,0	66,0	15	75,5	60,5	15	78,0	58,0
	20	72,0	64,0	20	77,0	59,0	20	79,6	56,4
	25	73,5	62,5	25	79,3	56,7	25	82,3	53,7
	30	75,2	60,8	30	81,0	55,0	30	84,7	51,3
	40	78,0	58,0	40	84,0	52,0	40	89,5	46,5
	50	80,0	56,0	50	87,5	48,5	50	91,0	45,0
1	60	82,3	53,7	60	89,5	46,5	60	93,7	42,3
	70	84,5	51,5	70	92,0	44,0	70	95,9	40,1
	80	86,5	49,5	80	94,0	42,0	80	98,5	37,5
	100	88,1	47,9	100	97,8	38,2	100	101,8	34,2
2	120	89,4	46,6	120	101,0	35,0	120	105,0	31,0
	150	91,0	45,0	150	105,0	31,0	150	108,8	27,2
3	180	93,9	42,1	180	108,0	28,0	180	111,8	24,2
	210	97,5	38,5	210	111,2	24,8	210	114,8	21,2
4	240	100,0	36,0	240	113,9	22,1	240	117,3	18,7
	270	102,7	33,3	270	116,7	19,3	270	120,0	16,0
5	300	104,9	31,1	300	119,0	17,0	300	123,0	13,0
6	360	105,6	30,4	360	122,8	13,2	360	126,0	10,0
7	420	105,7	30,3	420	125,6	10,4	420	129,1	6,9
8	480			480			480		
9	540			540			540		
10	600			600			600		
11	660			660			660		
12	720			720			720		
13	780			780			780		
14	840			840			840		
15	900			900			900		

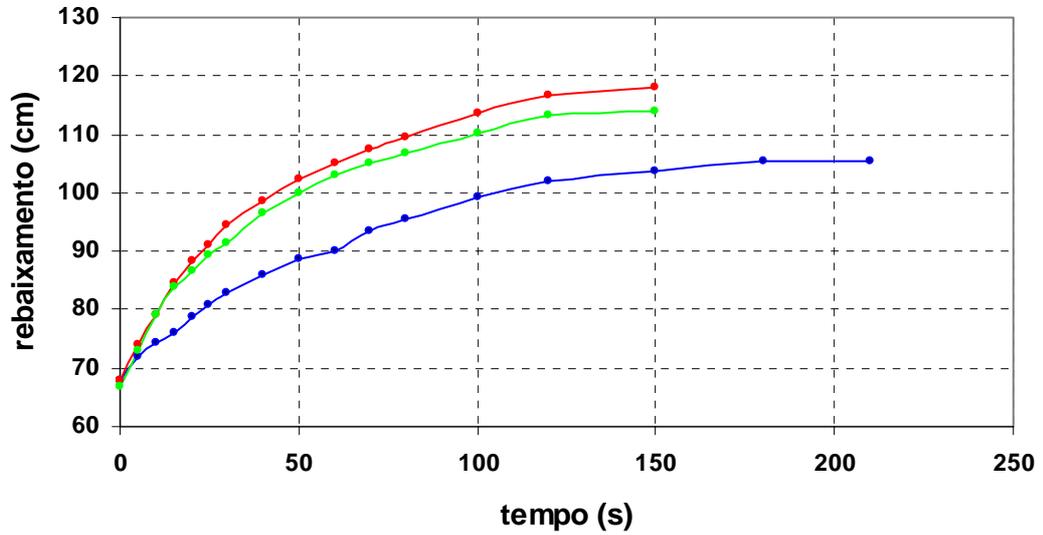
FICHA DE CAMPO – POÇO INVERTIDO

Furo N° 01

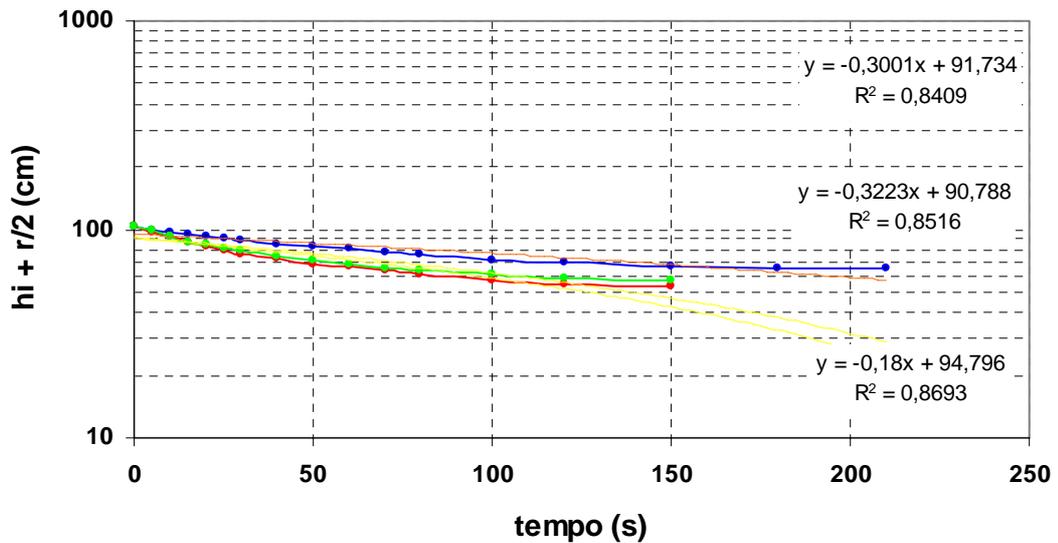


K1 = 1,48E-01 m/dia 6,15E-01 cm/h
K2 = 1,37E-01 m/dia 5,71E-01 cm/h

Furo Nº 03a



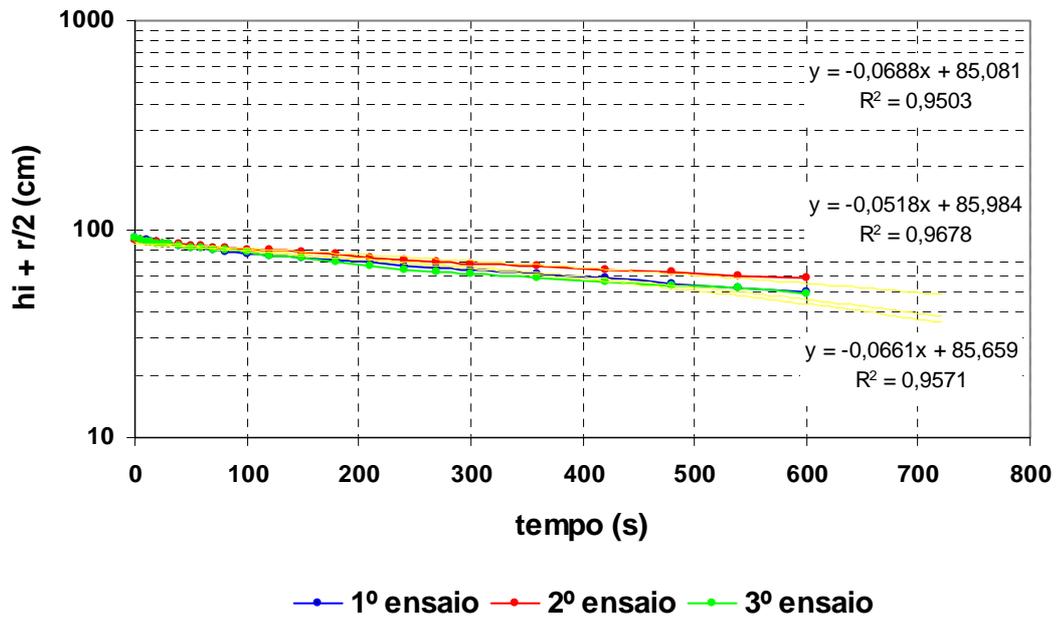
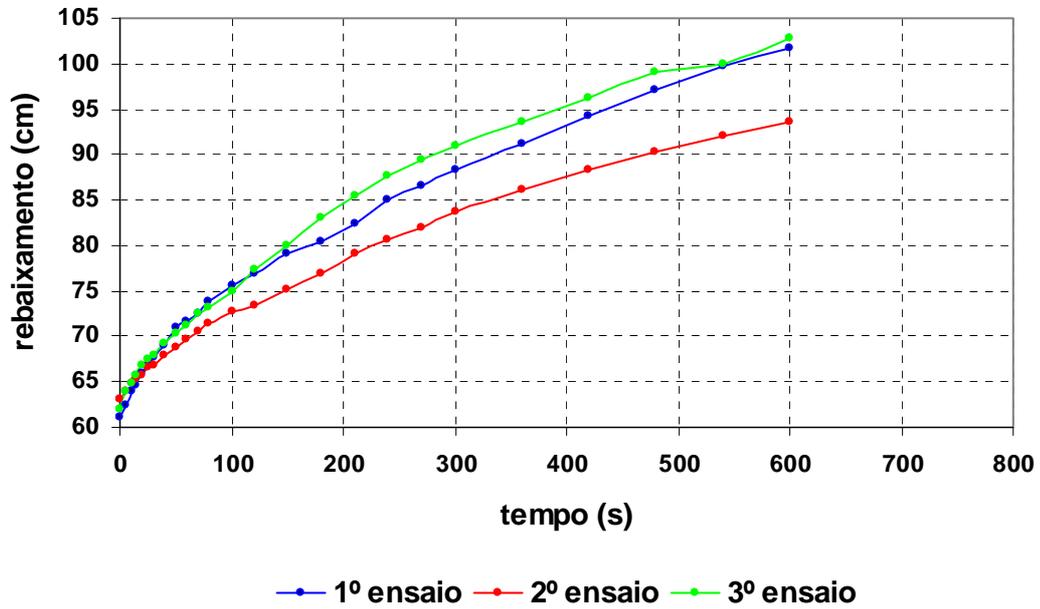
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

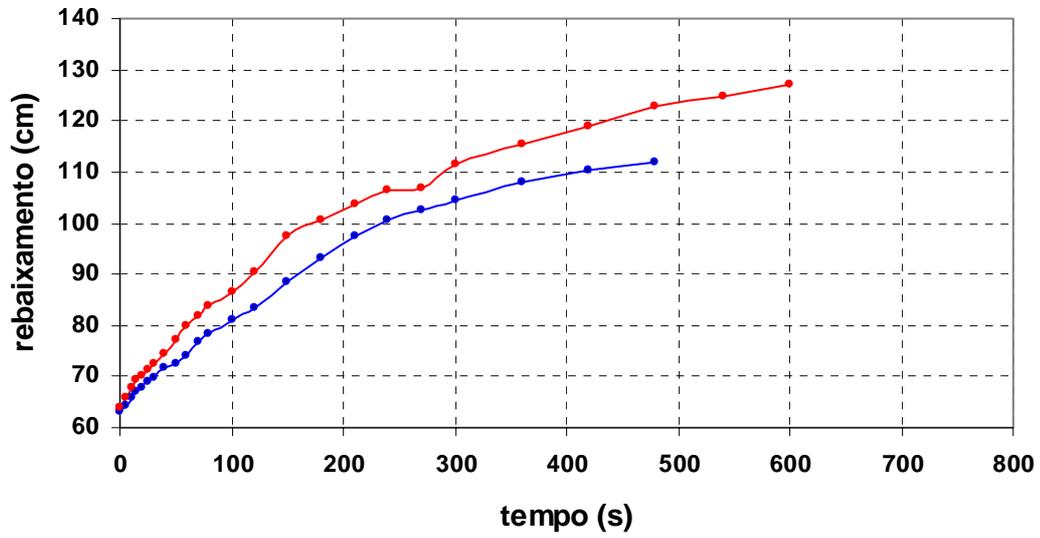
K1 =	3,62E-01	m/dia	1,51E+00	cm/h	1,01E-04
K2 =	6,49E-01	m/dia	2,70E+00	cm/h	1,80E-04
K3 =	6,04E-01	m/dia	2,52E+00	cm/h	1,68E-04

Furo Nº 03b

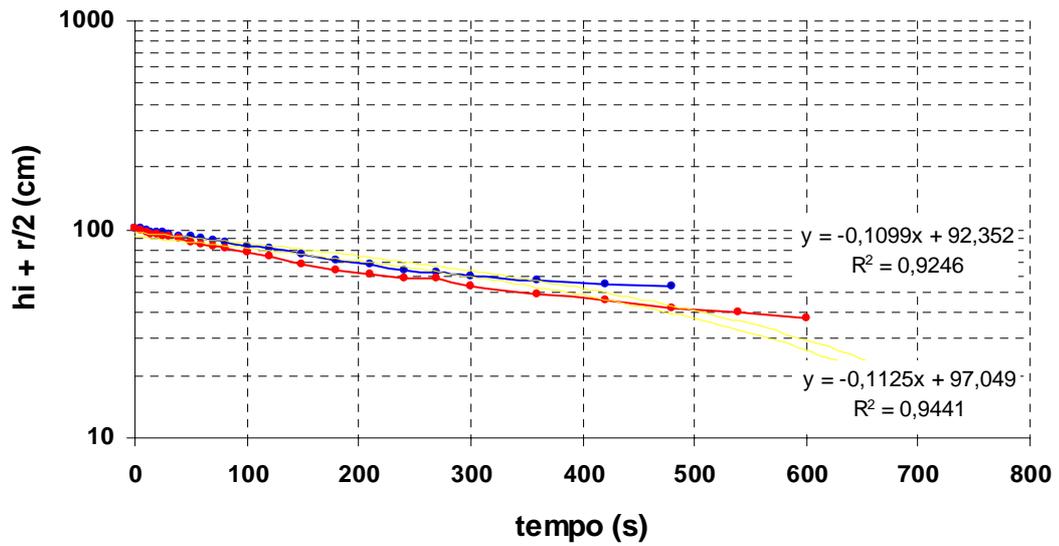


K1 =	1,33E-01	m/dia	5,54E-01	cm/h	3,70E-05
K2 =	1,04E-01	m/dia	4,34E-01	cm/h	2,90E-05
K3 =	1,38E-01	m/dia	5,77E-01	cm/h	3,85E-05

Furo N° 04



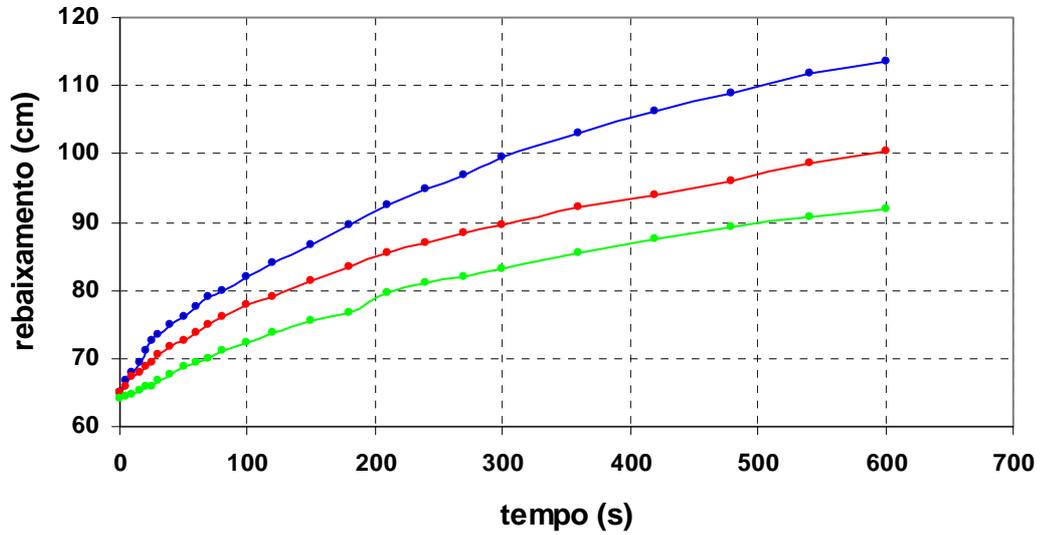
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



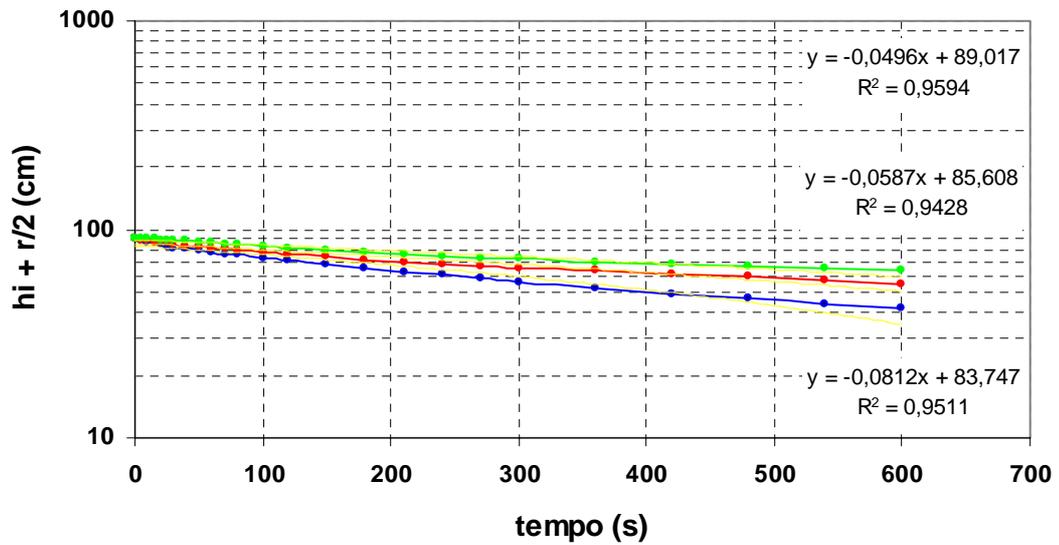
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

K1 =	2,26E-01	m/dia	9,43E-01	cm/h	6,29E-05
K2 =	2,21E-01	m/dia	9,22E-01	cm/h	6,14E-05
K3 =	1,40E-01	m/dia	5,82E-01	cm/h	3,88E-05

Furo N° 05



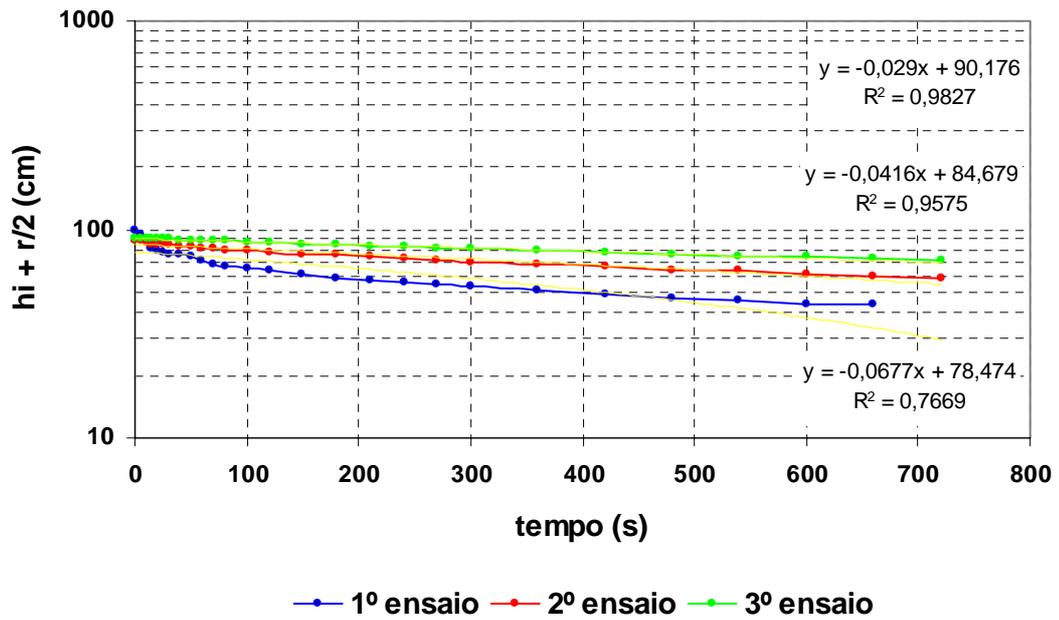
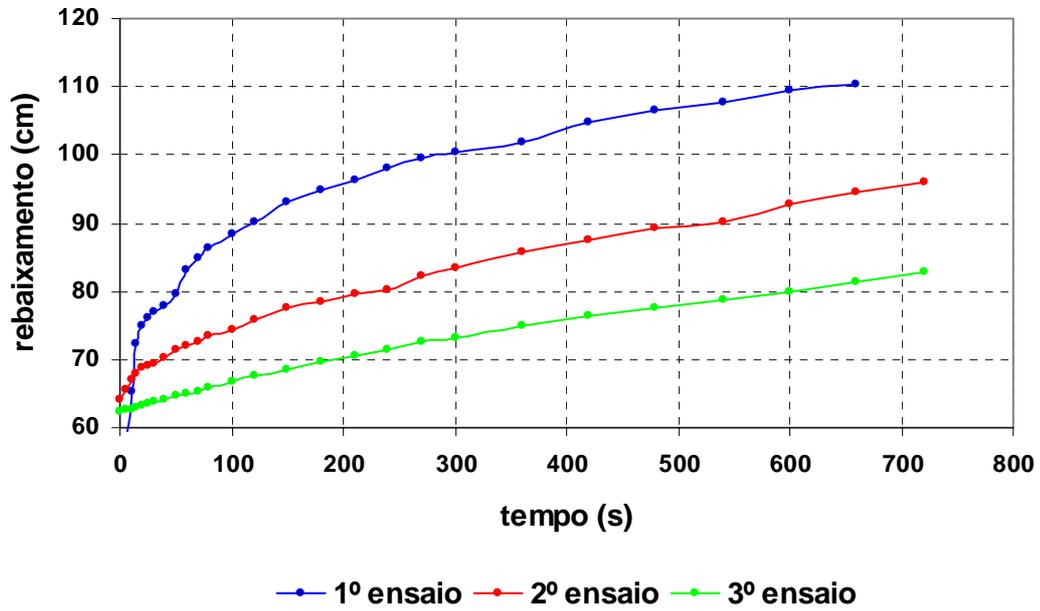
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

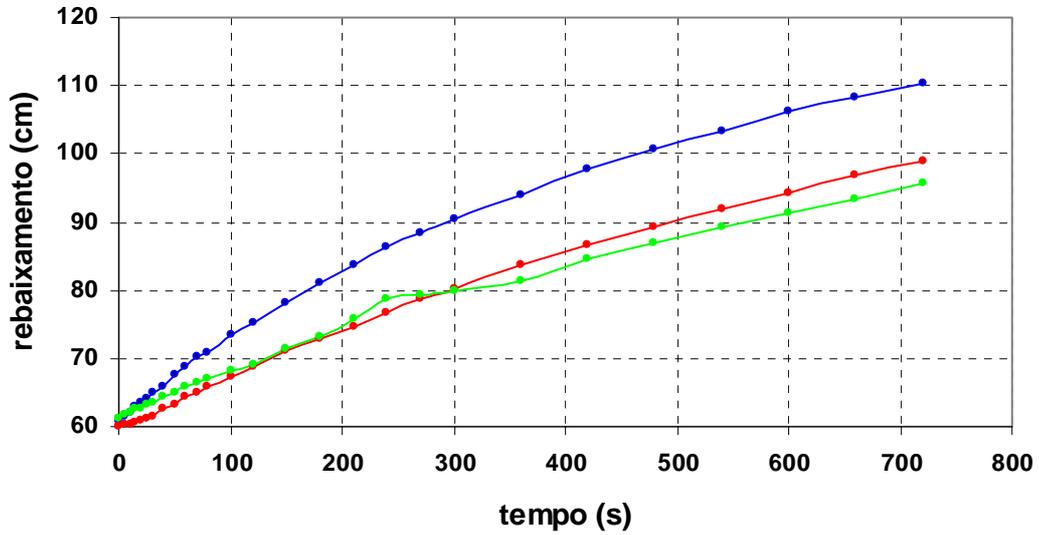
K1 =	1,63E-01	m/dia	6,81E-01	cm/h	4,54E-05
K2 =	1,18E-01	m/dia	4,92E-01	cm/h	3,28E-05
K3 =	9,98E-02	m/dia	4,16E-01	cm/h	2,77E-05

Furo N° 06

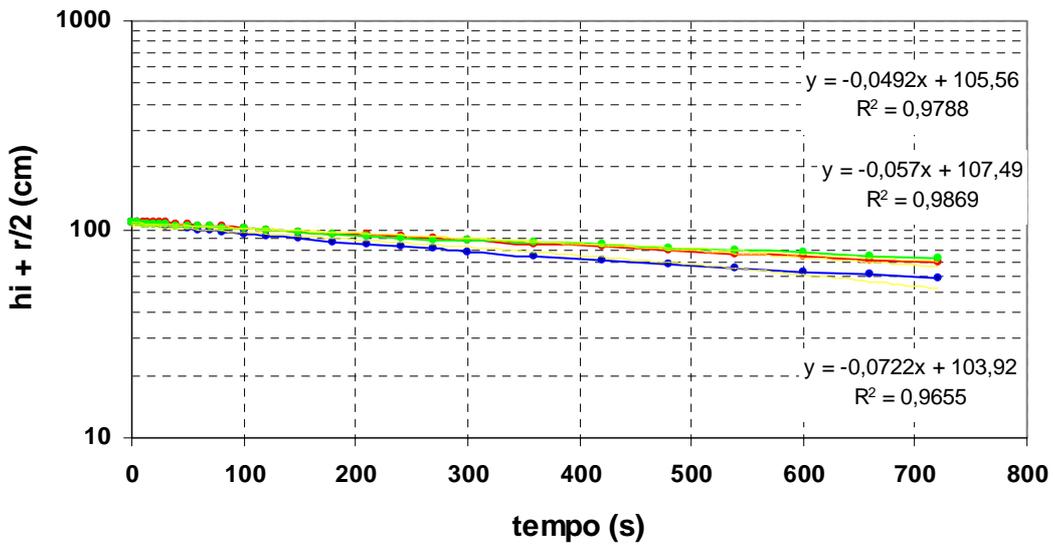


K1 =	1,36E-01	m/dia	5,68E-01	cm/h	3,78E-05
K2 =	8,37E-02	m/dia	3,49E-01	cm/h	2,33E-05
K3 =	5,84E-02	m/dia	2,43E-01	cm/h	1,62E-05

Furo N° 07



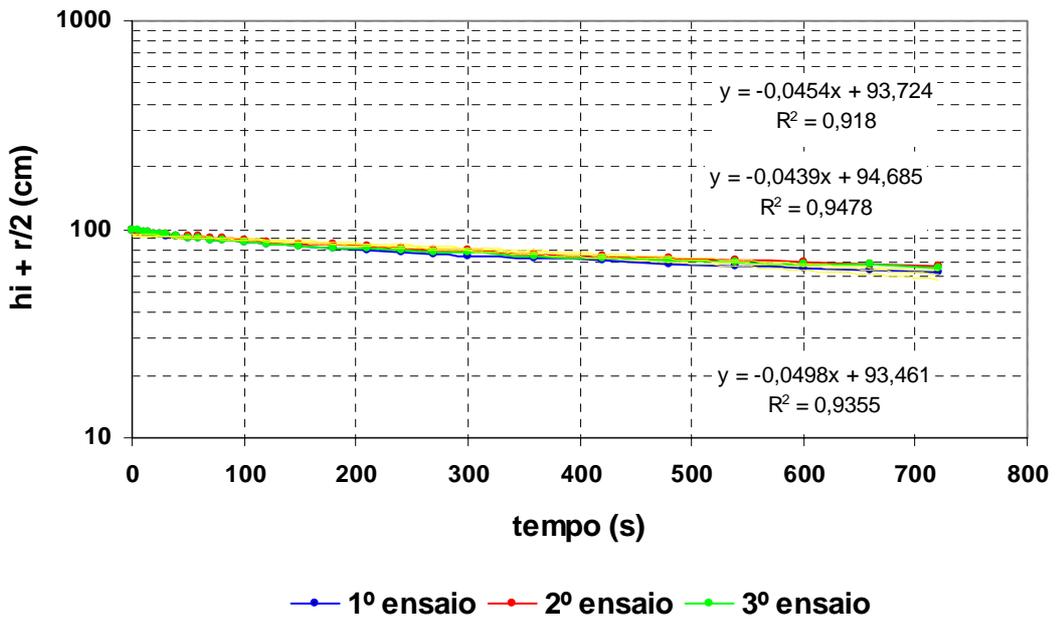
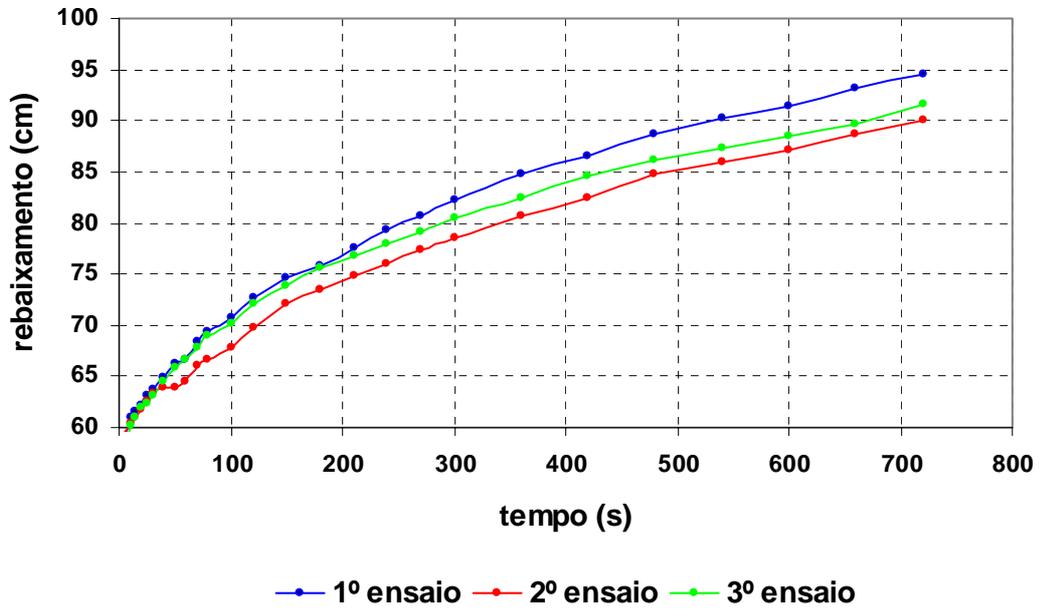
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

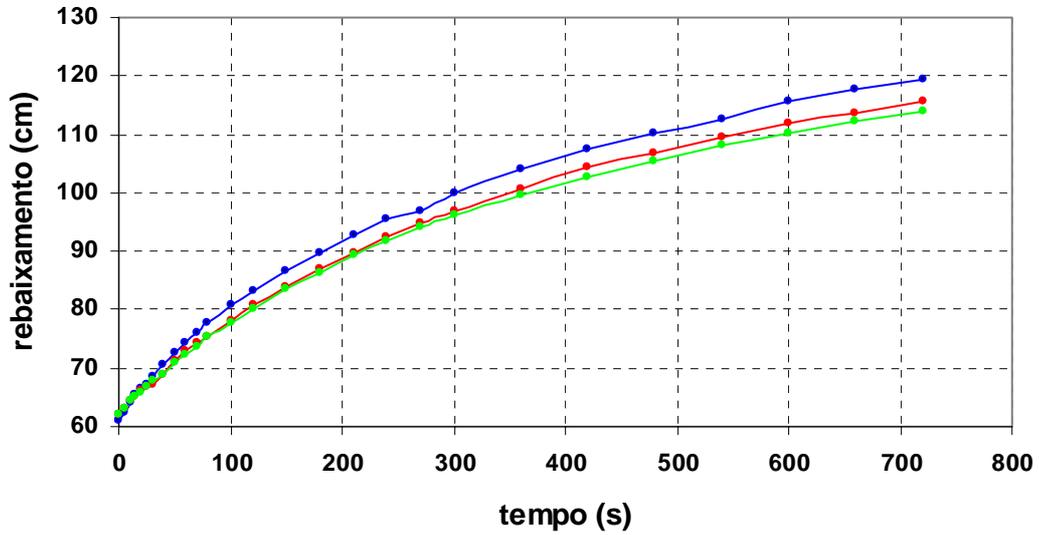
K1 =	1,45E-01	m/dia	6,05E-01	cm/h	4,04E-05
K2 =	1,15E-01	m/dia	4,78E-01	cm/h	3,19E-05
K3 =	9,90E-02	m/dia	4,13E-01	cm/h	2,75E-05

Furo N° 08

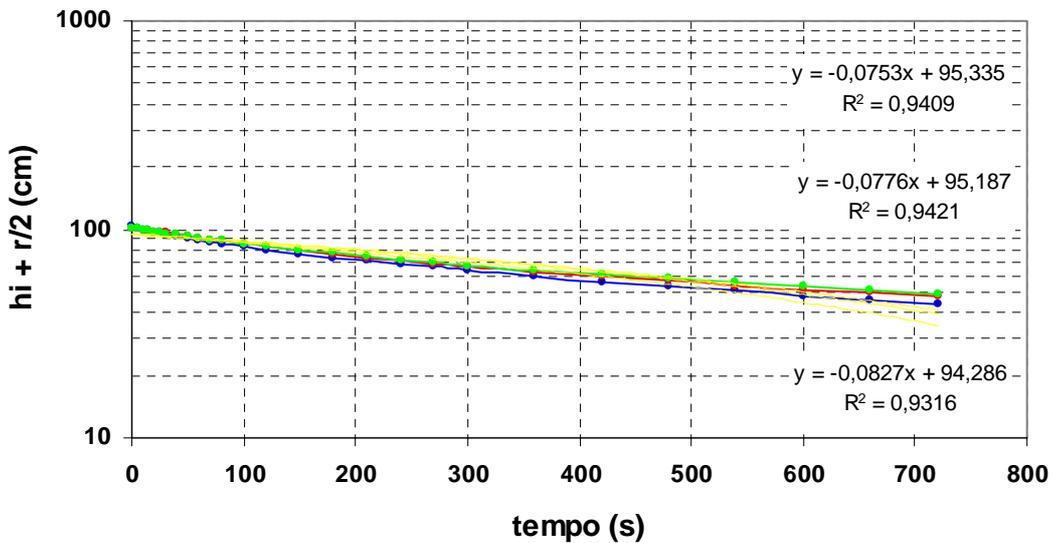


K1 =	1,00E-01	m/dia	4,18E-01	cm/h	2,78E-05
K2 =	8,83E-02	m/dia	3,68E-01	cm/h	2,45E-05
K3 =	9,14E-02	m/dia	3,81E-01	cm/h	2,54E-05

Furo N° 09



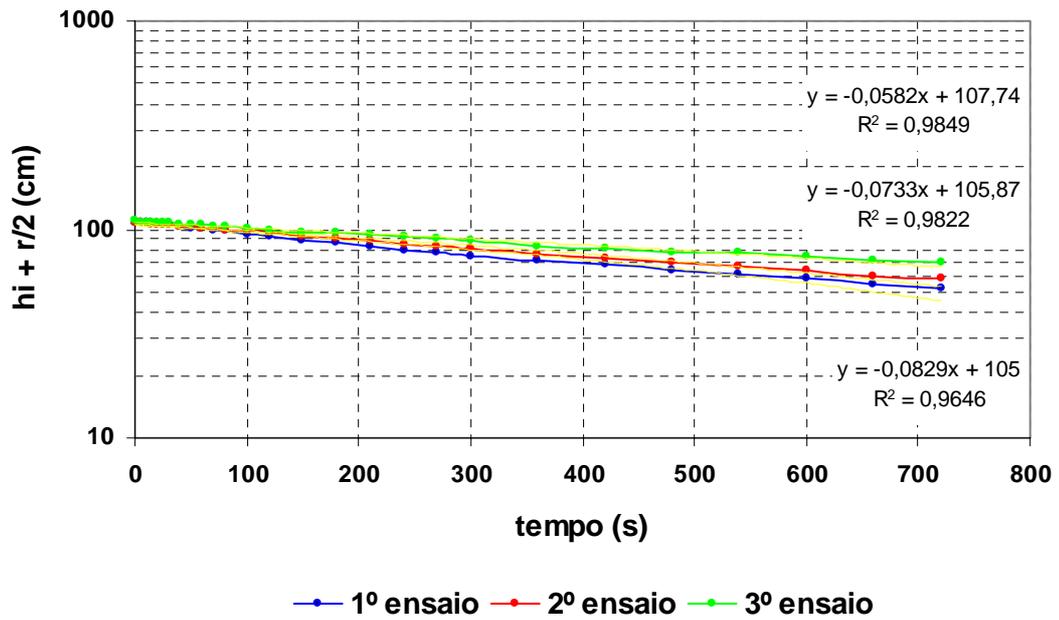
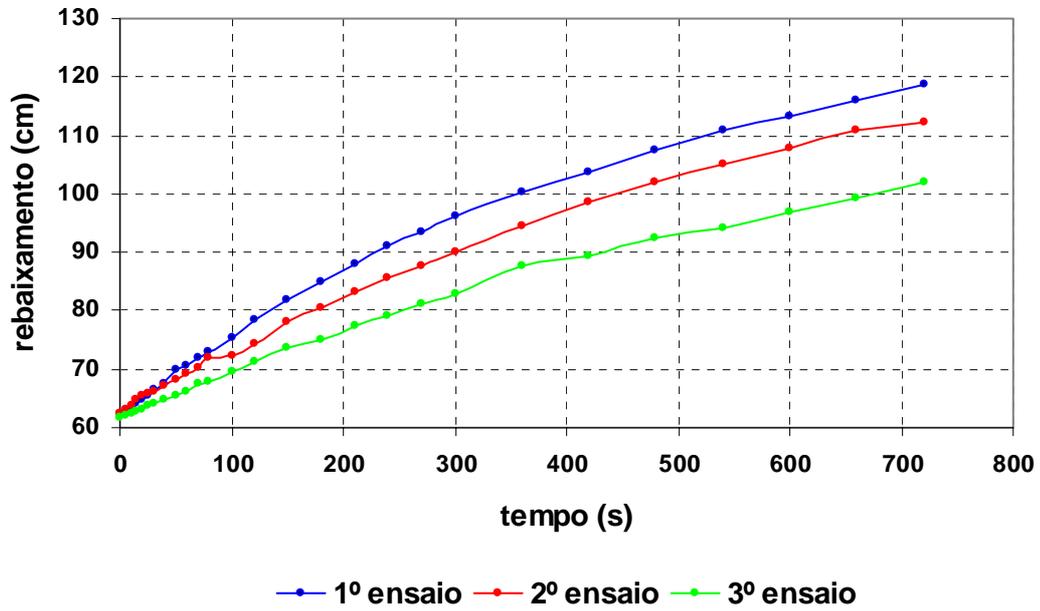
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

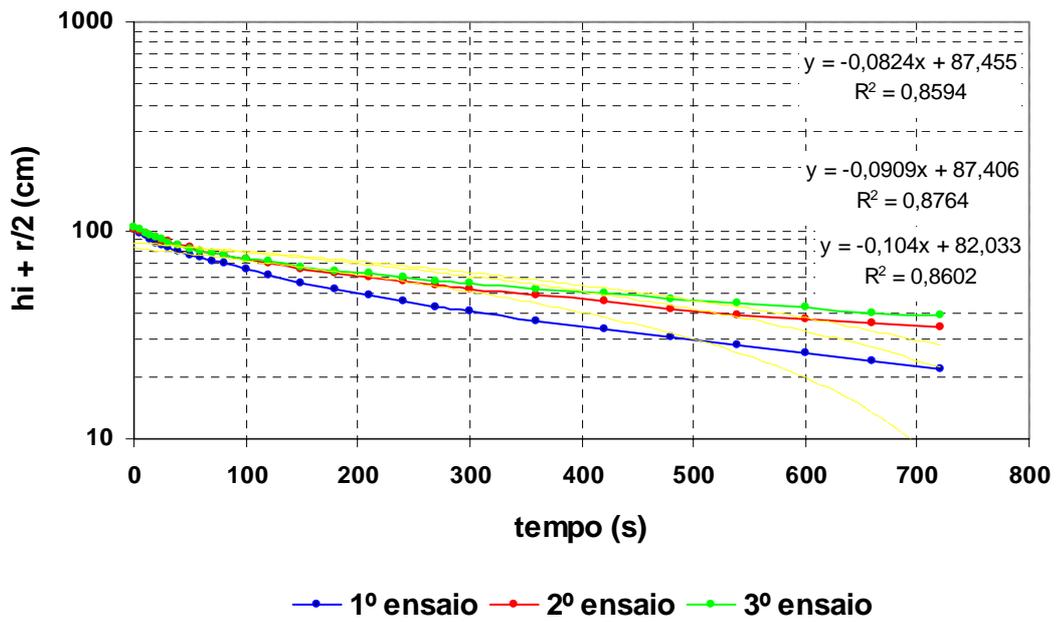
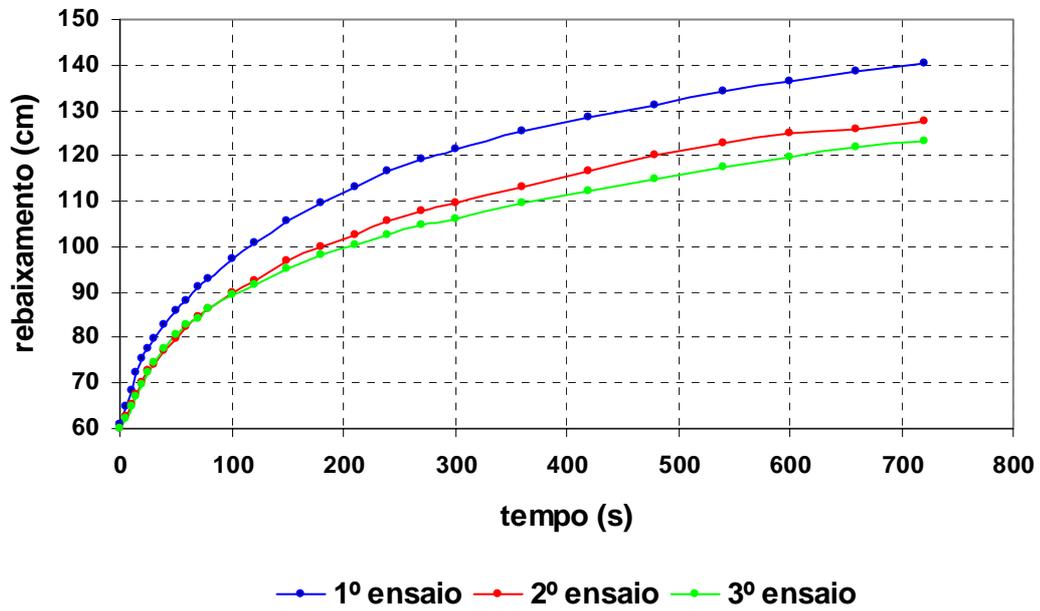
K1 =	1,66E-01	m/dia	6,93E-01	cm/h	4,62E-05
K2 =	1,56E-01	m/dia	6,51E-01	cm/h	4,34E-05
K3 =	1,52E-01	m/dia	6,31E-01	cm/h	4,21E-05

Furo N° 10



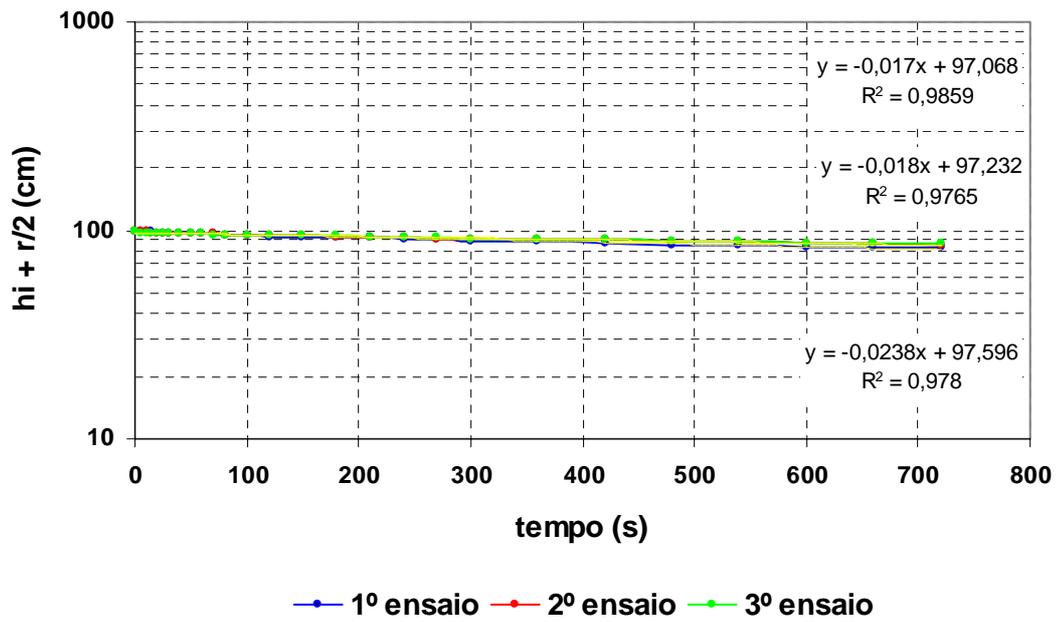
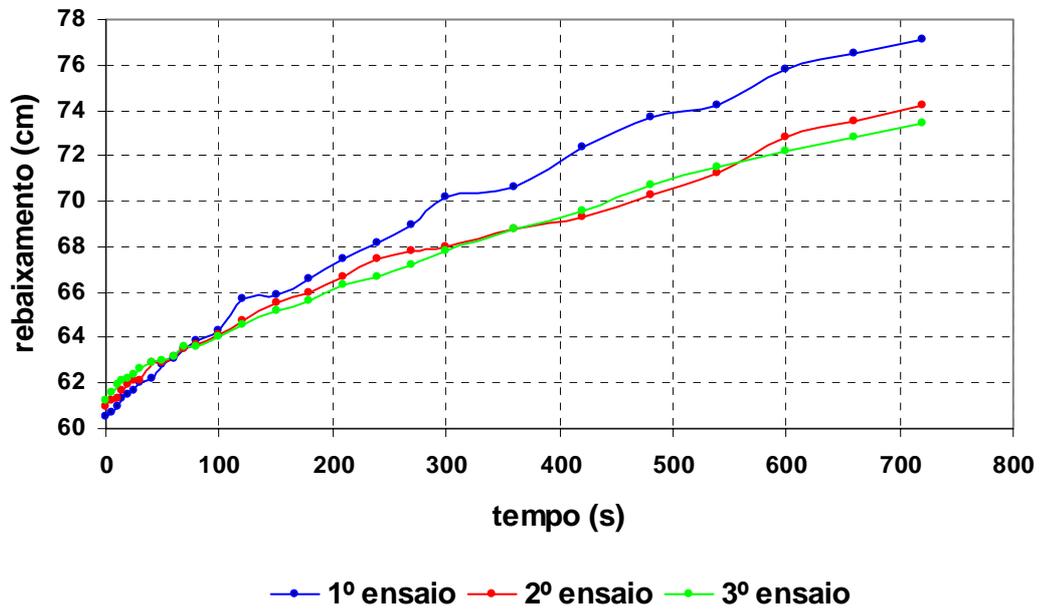
K1 =	1,67E-01	m/dia	6,95E-01	cm/h	4,63E-05
K2 =	1,48E-01	m/dia	6,15E-01	cm/h	4,10E-05
K3 =	1,17E-01	m/dia	4,88E-01	cm/h	3,25E-05

Furo N° 11



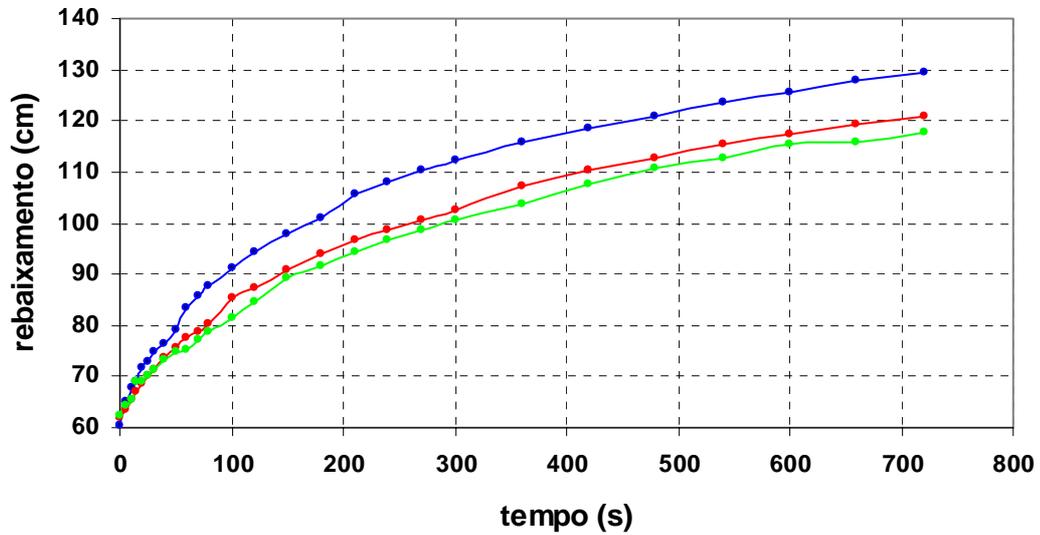
K1 =	2,09E-01	m/dia	8,72E-01	cm/h	5,81E-05
K2 =	1,83E-01	m/dia	7,62E-01	cm/h	5,08E-05
K3 =	1,66E-01	m/dia	6,91E-01	cm/h	4,61E-05

Furo N° 12

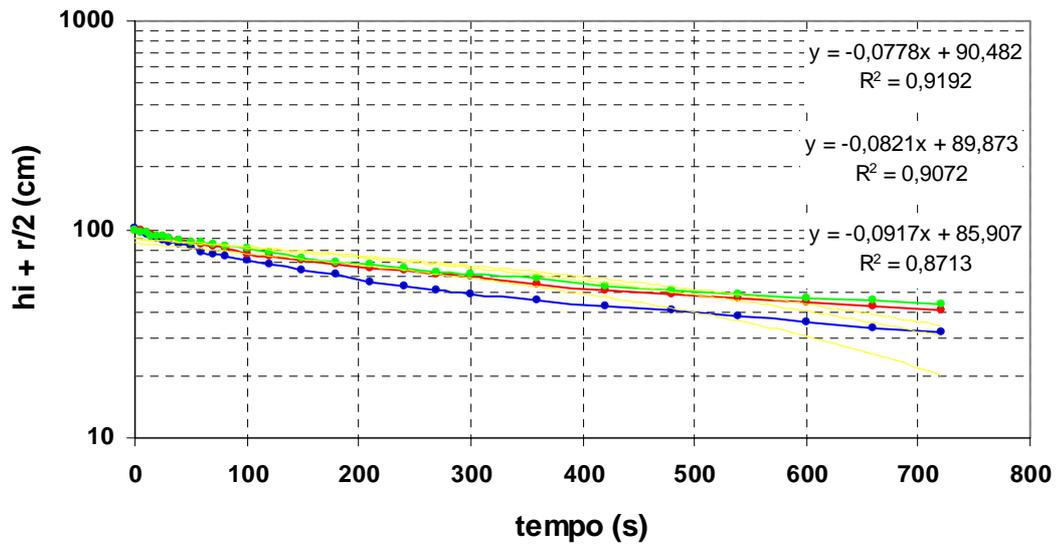


K1 =	4,79E-02	m/dia	2,00E-01	cm/h	1,33E-05
K2 =	3,62E-02	m/dia	1,51E-01	cm/h	1,01E-05
K3 =	3,42E-02	m/dia	1,43E-01	cm/h	9,50E-06

Furo N° 13



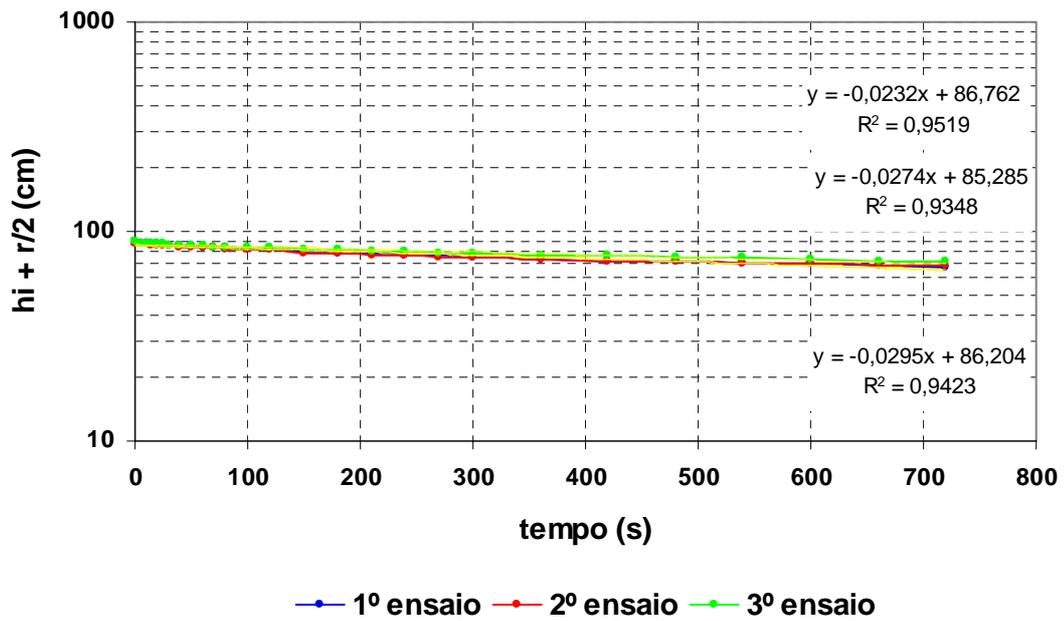
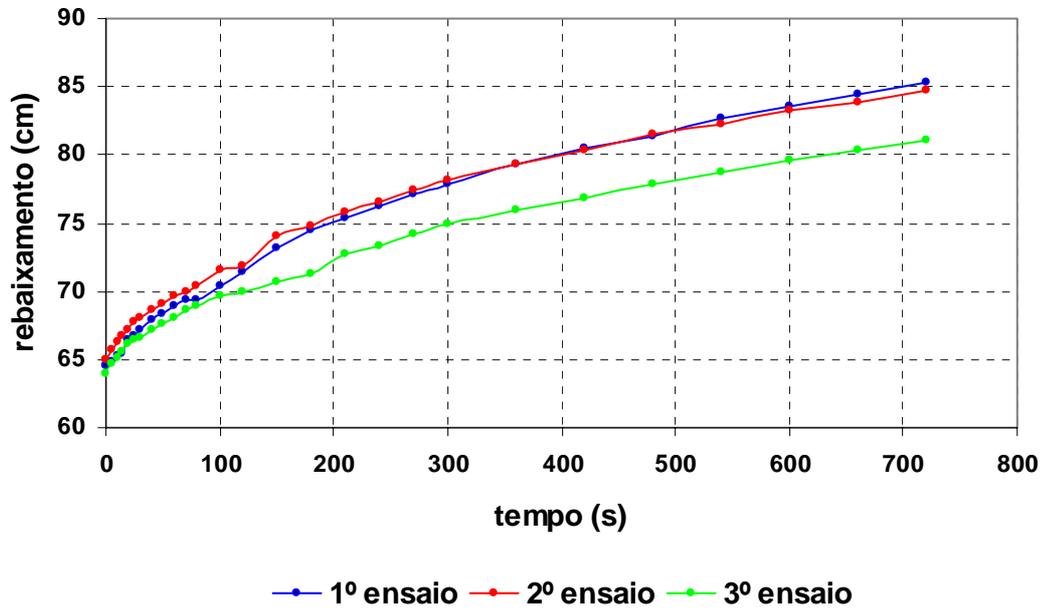
1º ensaio 2º ensaio 3º ensaio



1º ensaio 2º ensaio 3º ensaio

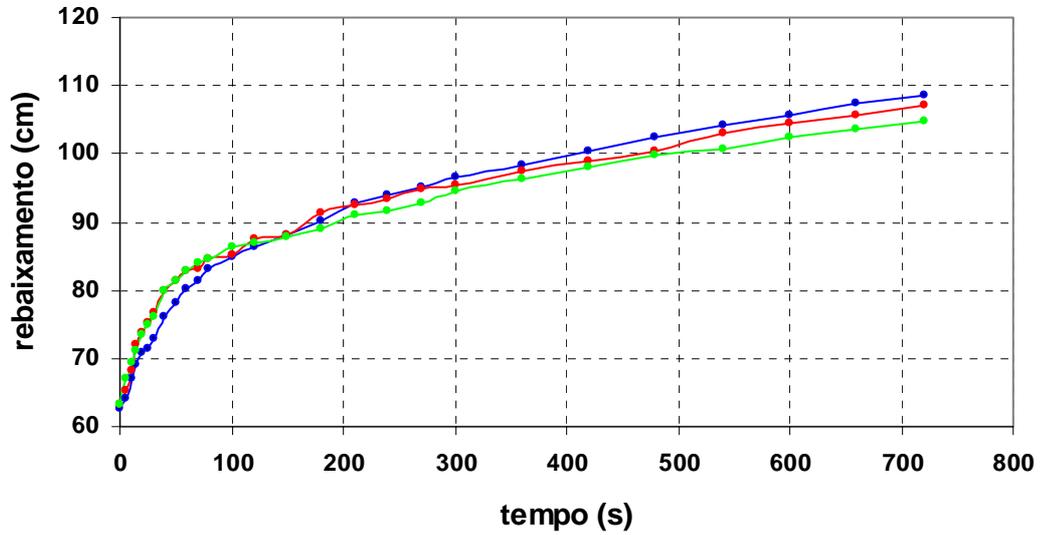
K1 =	1,85E-01	m/dia	7,69E-01	cm/h	5,13E-05
K2 =	1,65E-01	m/dia	6,88E-01	cm/h	4,59E-05
K3 =	1,57E-01	m/dia	6,52E-01	cm/h	4,35E-05

Furo N° 14

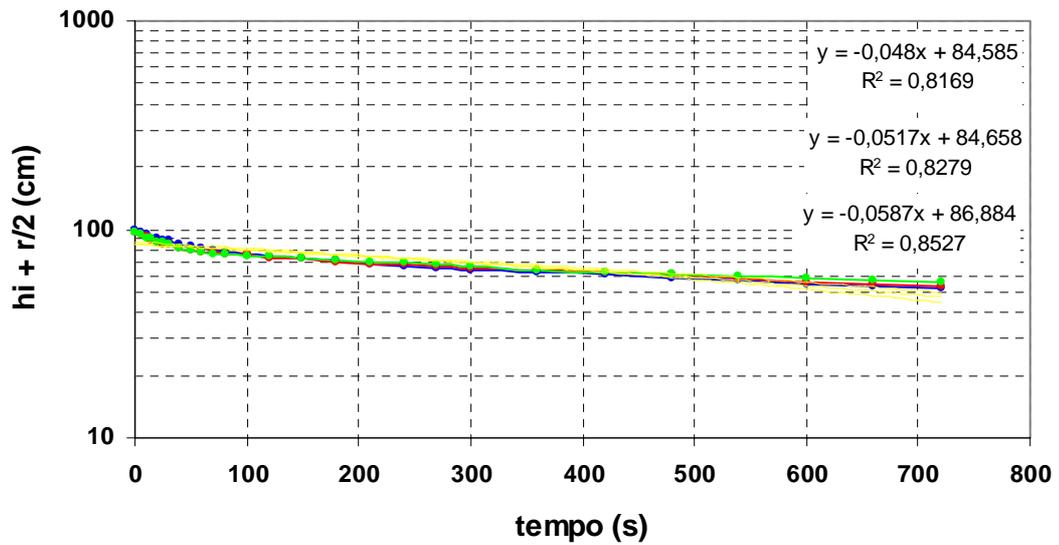


K1 =	5,94E-02	m/dia	2,47E-01	cm/h	1,65E-05
K2 =	5,51E-02	m/dia	2,30E-01	cm/h	1,53E-05
K3 =	4,67E-02	m/dia	1,95E-01	cm/h	1,30E-05

Furo N° 15



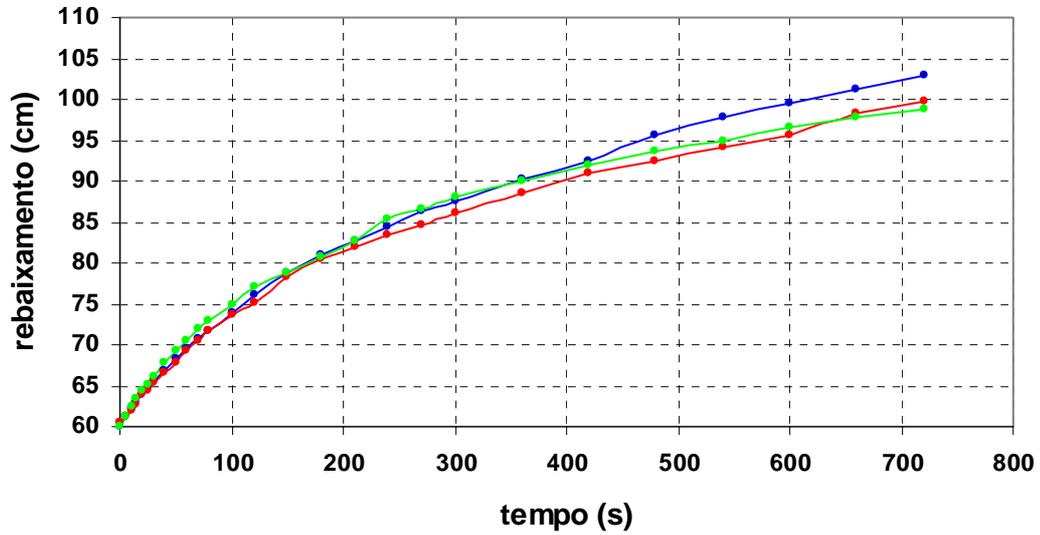
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



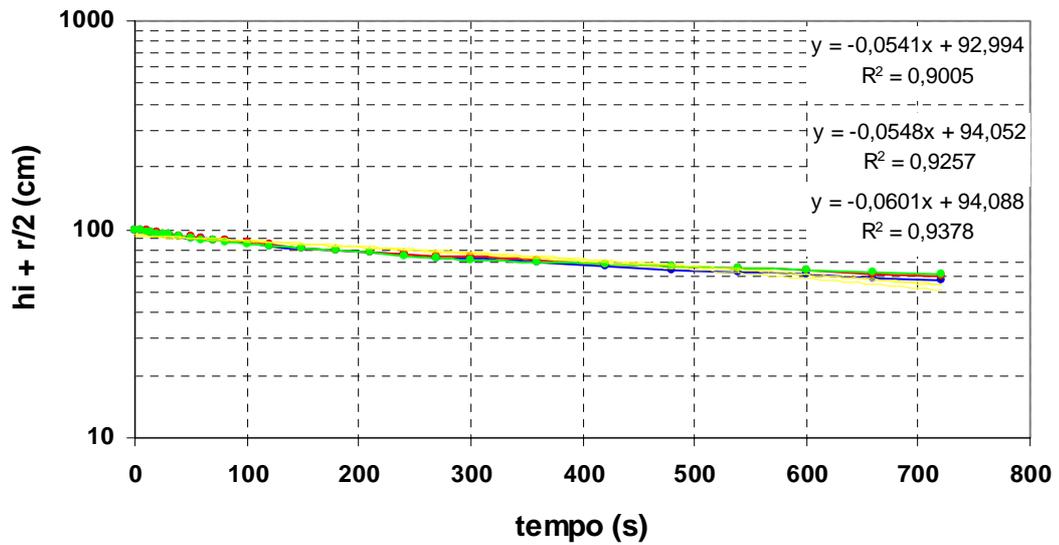
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

K1 =	1,18E-01	m/dia	4,92E-01	cm/h	3,28E-05
K2 =	1,04E-01	m/dia	4,34E-01	cm/h	2,89E-05
K3 =	9,66E-02	m/dia	4,03E-01	cm/h	2,68E-05

Furo N° 16



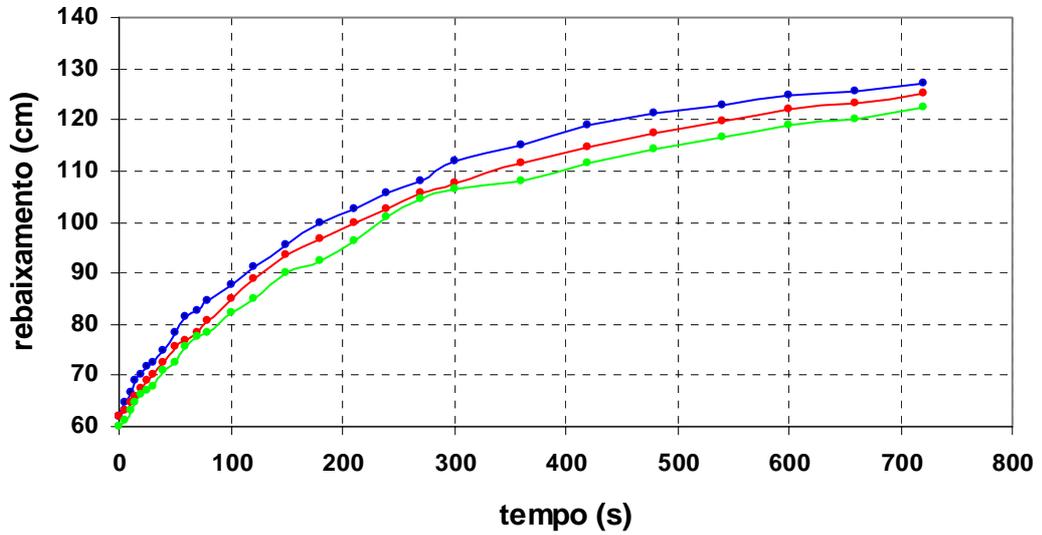
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



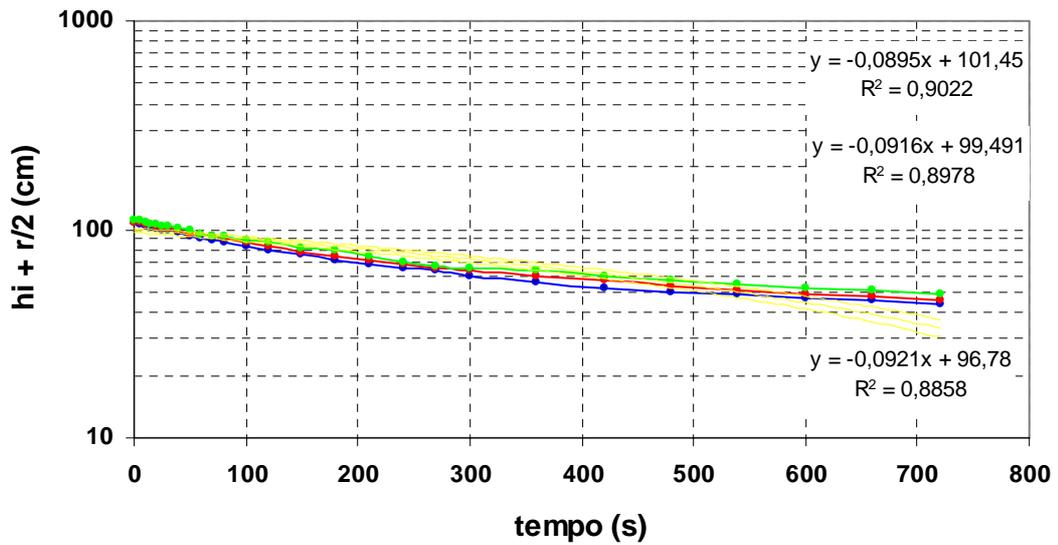
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

K1 =	2,08E-01	m/dia	8,69E-01	cm/h	5,79E-05
K2 =	1,10E-01	m/dia	4,60E-01	cm/h	3,06E-05
K3 =	1,09E-01	m/dia	4,54E-01	cm/h	3,02E-05

Furo N° 17



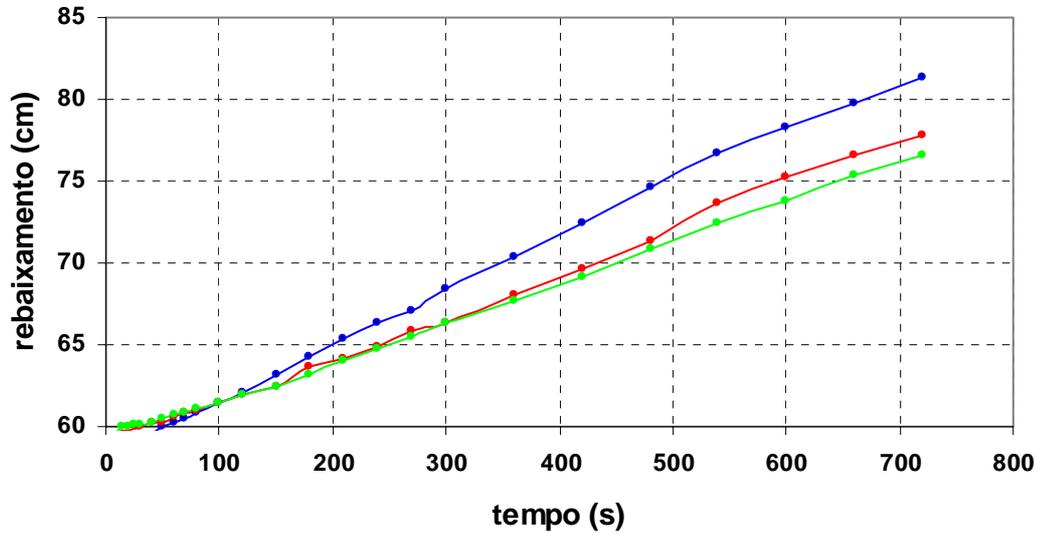
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



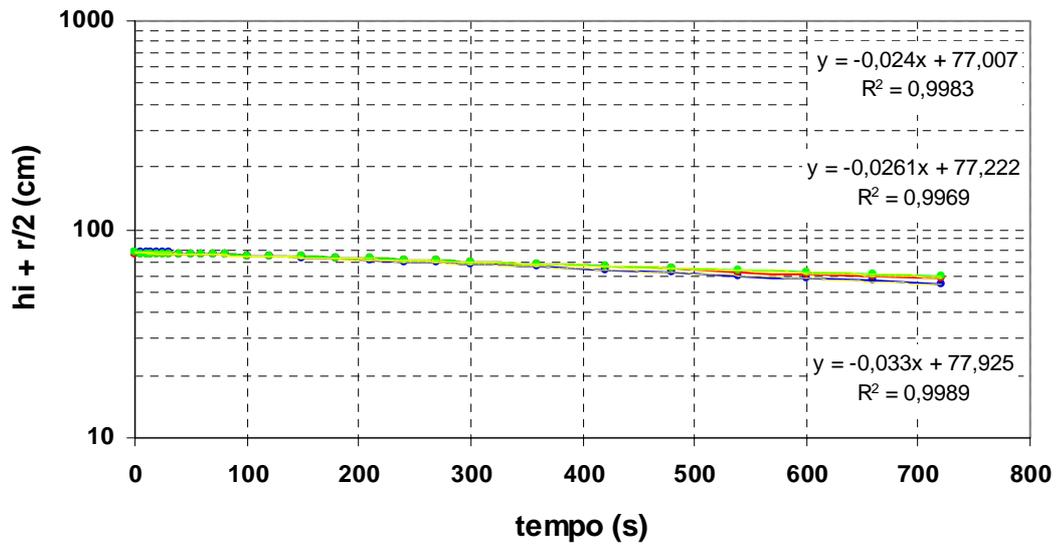
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

K1 =	1,85E-01	m/dia	7,72E-01	cm/h	5,15E-05
K2 =	1,84E-01	m/dia	7,68E-01	cm/h	5,12E-05
K3 =	1,80E-01	m/dia	7,50E-01	cm/h	5,00E-05

Furo N° 18



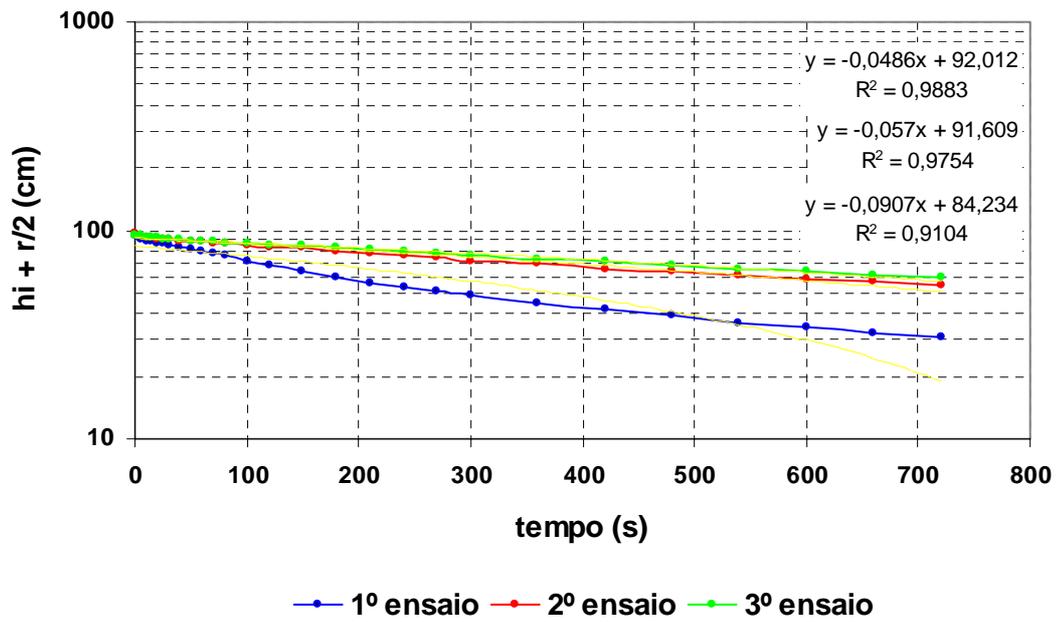
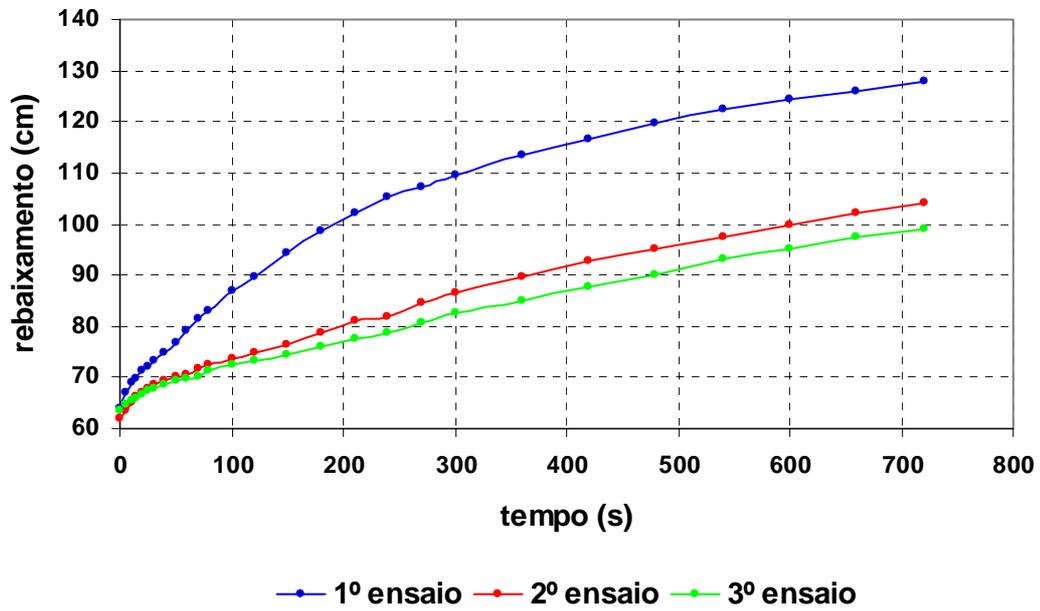
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

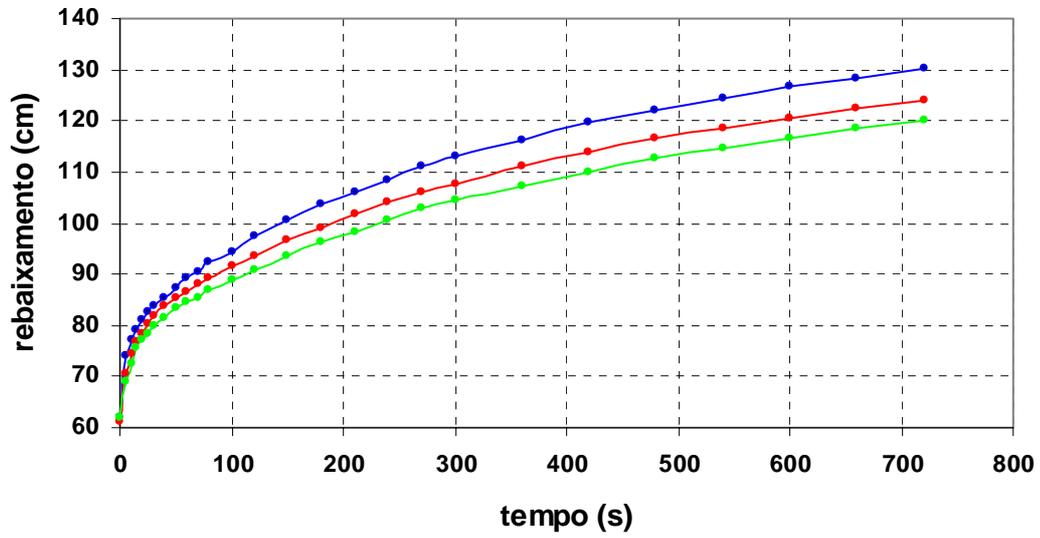
K1 =	6,64E-02	m/dia	2,77E-01	cm/h	1,84E-05
K2 =	5,25E-02	m/dia	2,19E-01	cm/h	1,46E-05
K3 =	4,83E-02	m/dia	2,01E-01	cm/h	1,34E-05

Furo N° 19

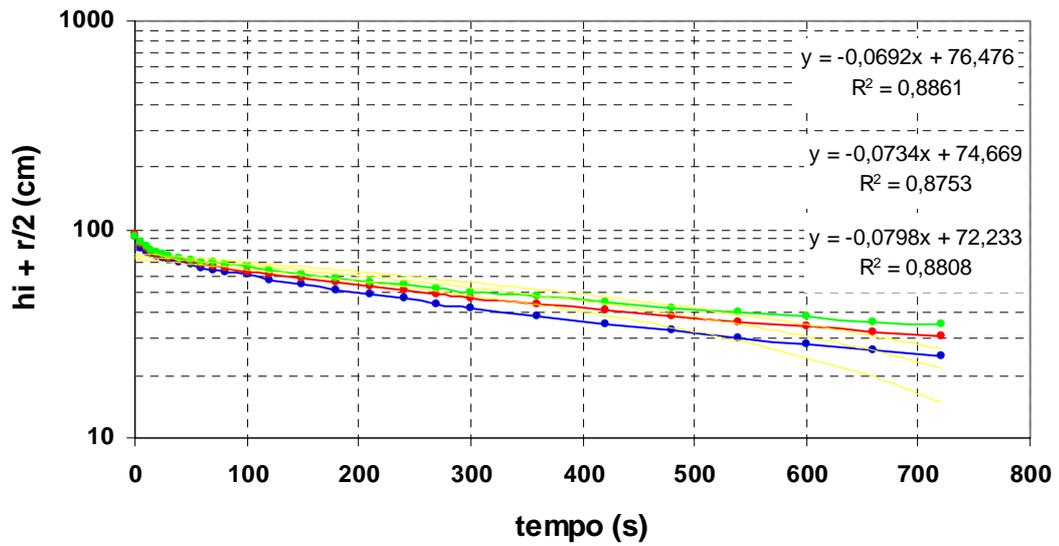


K1 =	1,83E-01 m/dia	7,61E-01 cm/h	5,07E-05
K2 =	1,15E-01 m/dia	4,78E-01 cm/h	3,19E-05
K3 =	9,78E-02 m/dia	4,08E-01 cm/h	2,72E-05

Furo N° 20



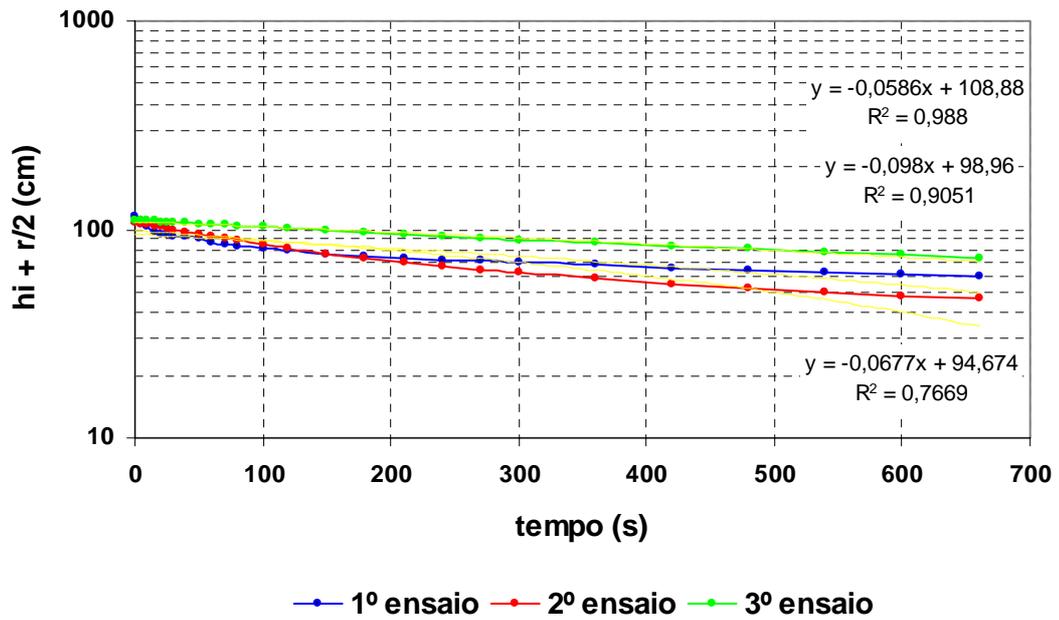
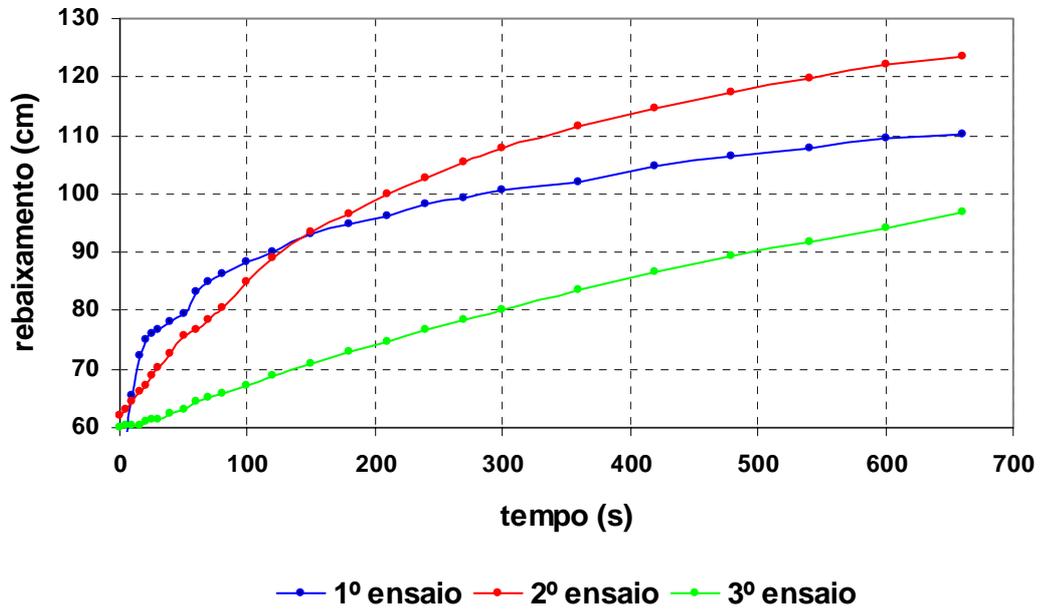
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

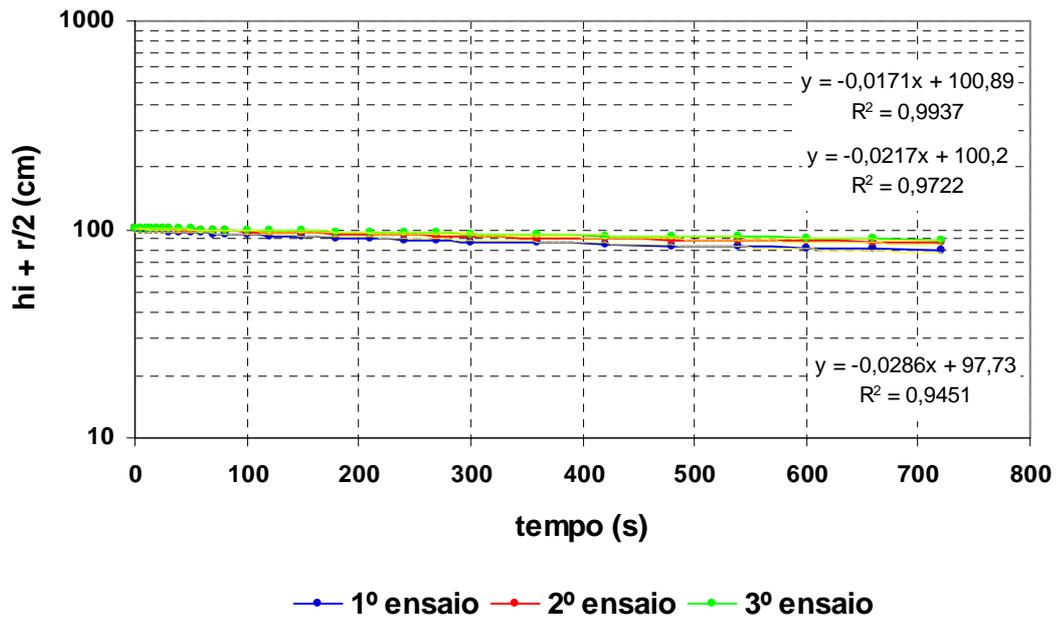
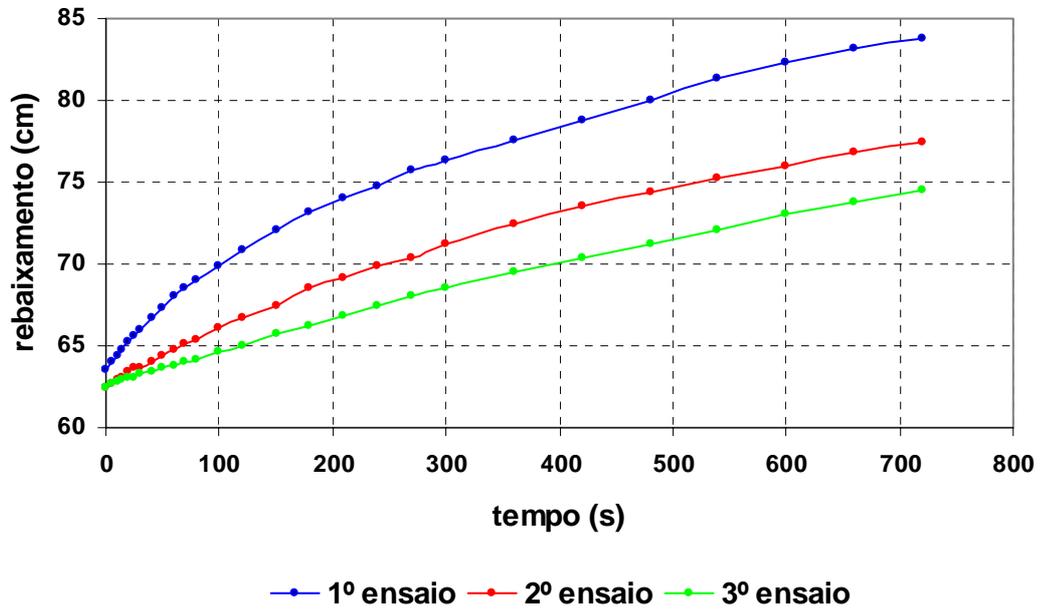
K1 =	1,61E-01	m/dia	6,69E-01	cm/h	4,46E-05
K2 =	1,48E-01	m/dia	6,15E-01	cm/h	4,10E-05
K3 =	1,39E-01	m/dia	5,80E-01	cm/h	3,87E-05

Furo N° 21



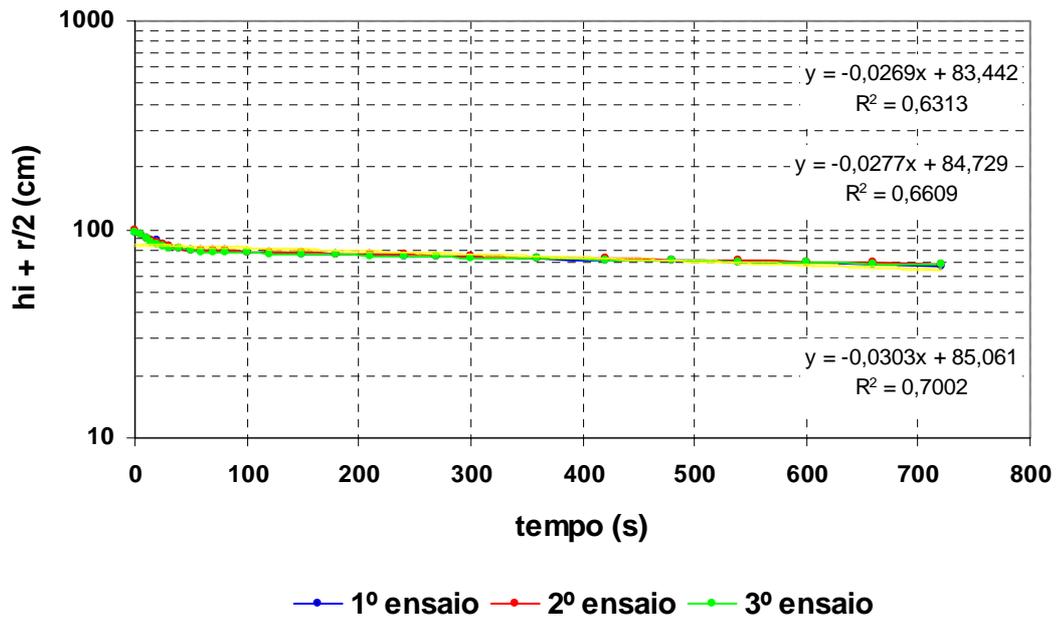
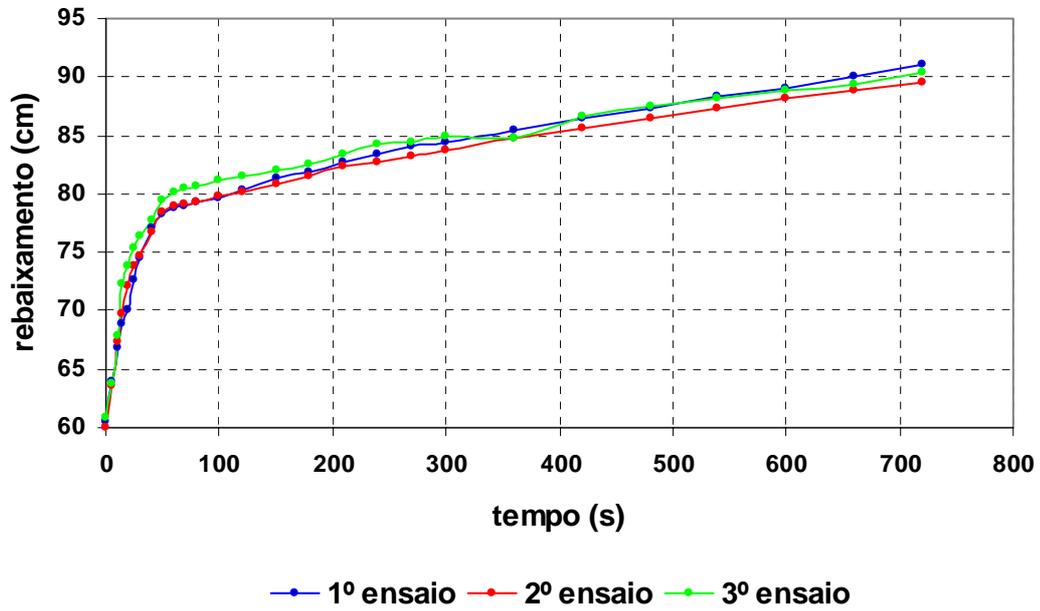
K1 =	1,36E-01	m/dia	5,68E-01	cm/h	3,78E-05
K2 =	1,97E-01	m/dia	8,22E-01	cm/h	5,48E-05
K3 =	1,18E-01	m/dia	4,91E-01	cm/h	3,28E-05

Furo N° 22



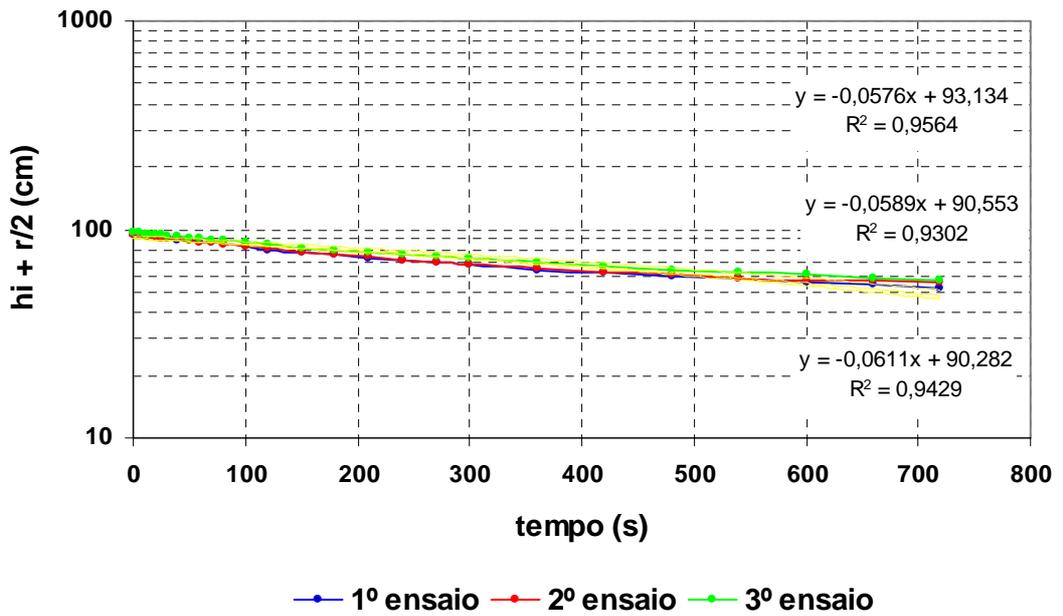
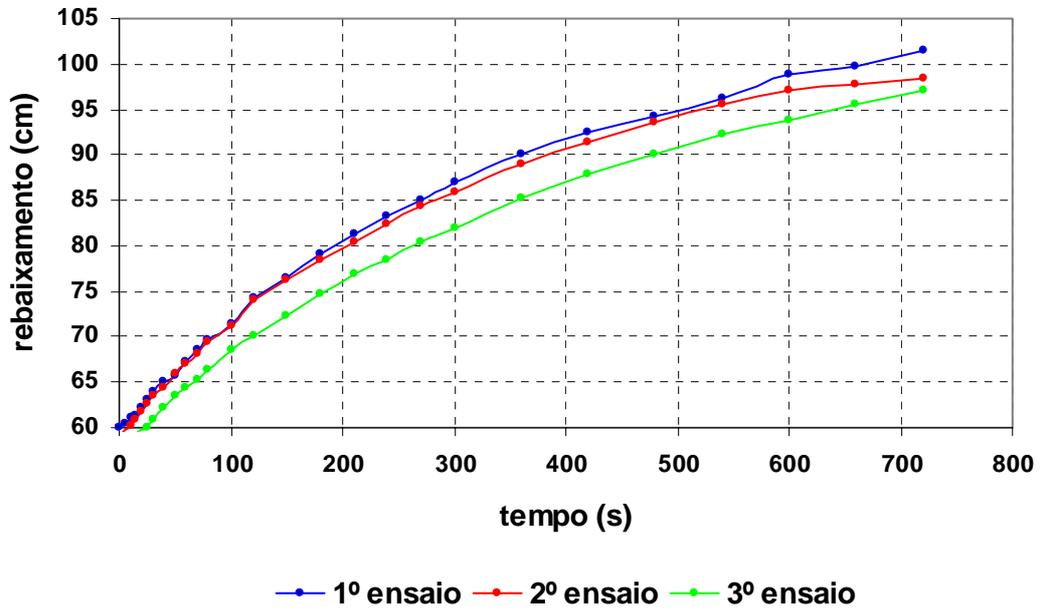
K1 =	5,76E-02 m/dia	2,40E-01 cm/h	1,60E-05
K2 =	4,37E-02 m/dia	1,82E-01 cm/h	1,21E-05
K3 =	3,44E-02 m/dia	1,43E-01 cm/h	9,56E-06

Furo N° 23



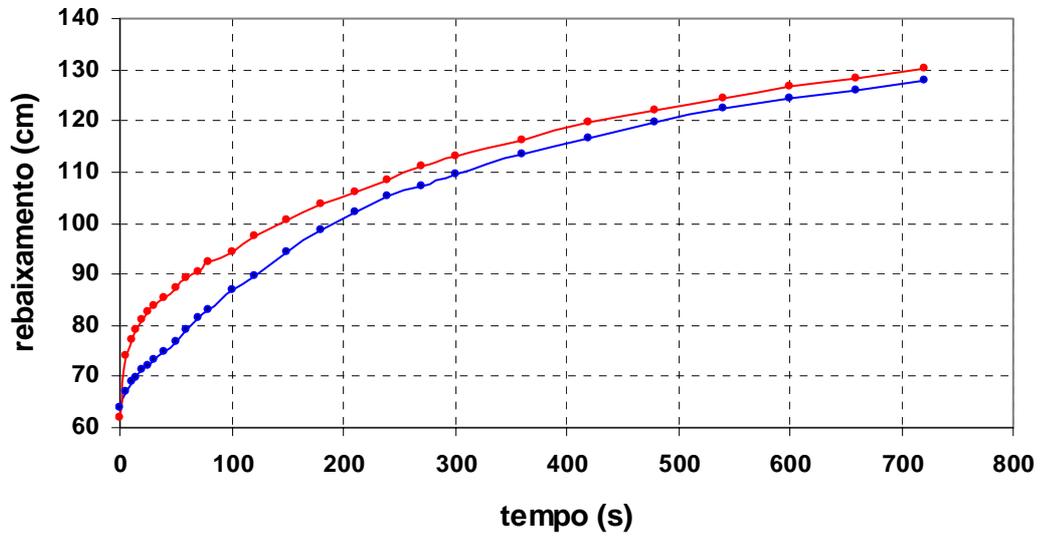
K1 =	6,10E-02	m/dia	2,54E-01	cm/h	1,69E-05
K2 =	5,57E-02	m/dia	2,32E-01	cm/h	1,55E-05
K3 =	5,41E-02	m/dia	2,26E-01	cm/h	1,50E-05

Furo N° 24

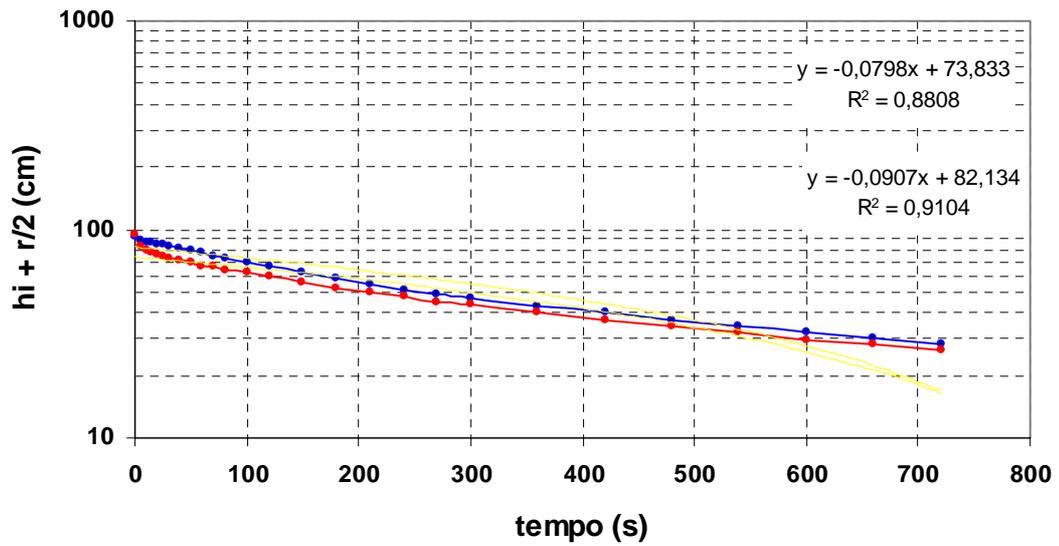


K1 =	1,23E-01	m/dia	5,12E-01	cm/h	3,42E-05
K2 =	1,19E-01	m/dia	4,94E-01	cm/h	3,29E-05
K3 =	1,16E-01	m/dia	4,83E-01	cm/h	3,22E-05

Furo N° 25



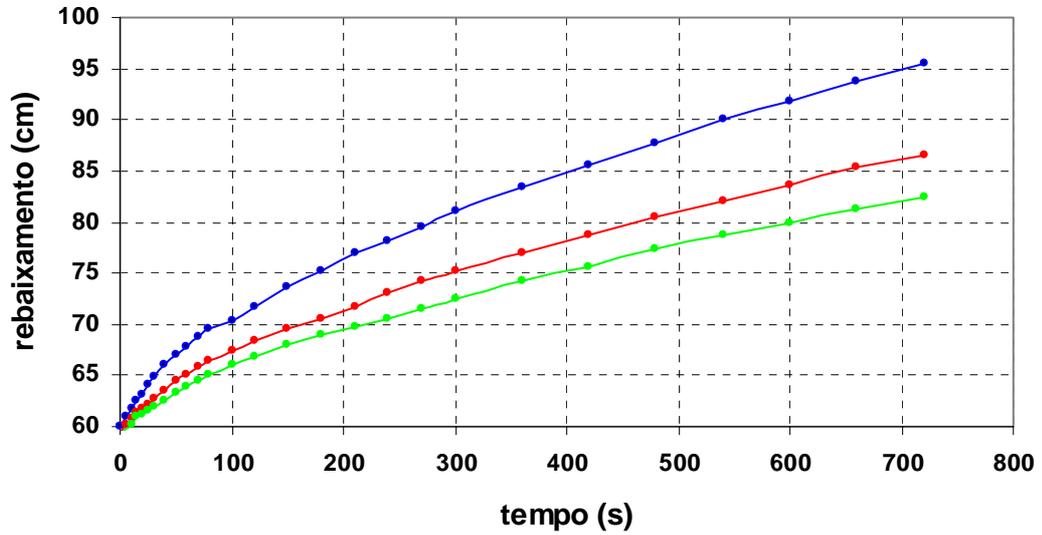
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio



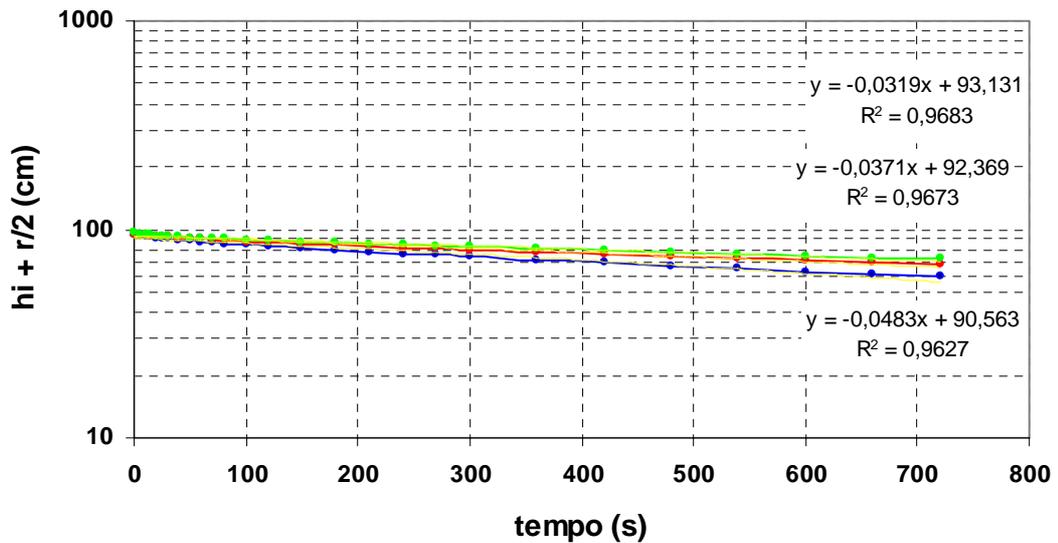
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio

K1 =	1,83E-01 m/dia	7,61E-01 cm/h	5,07E-05
K2 =	1,61E-01 m/dia	6,69E-01 cm/h	4,46E-05

Furo N° 26



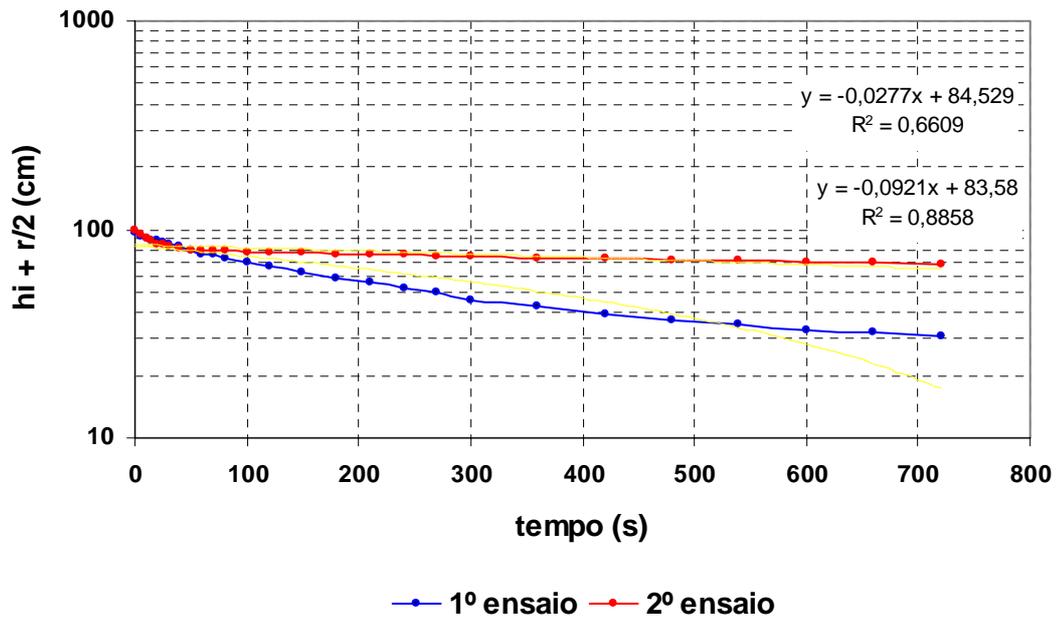
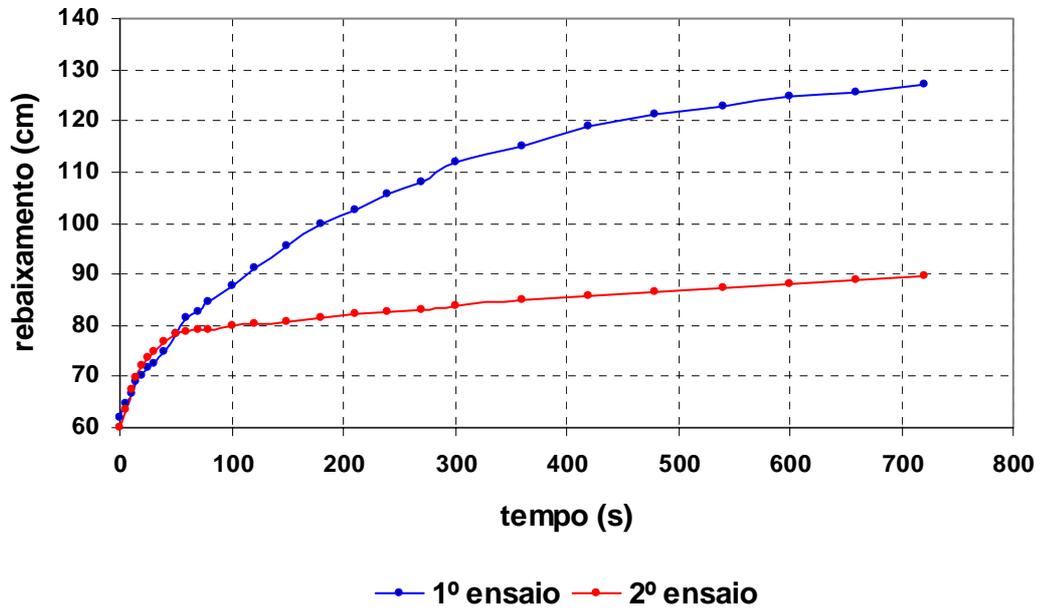
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

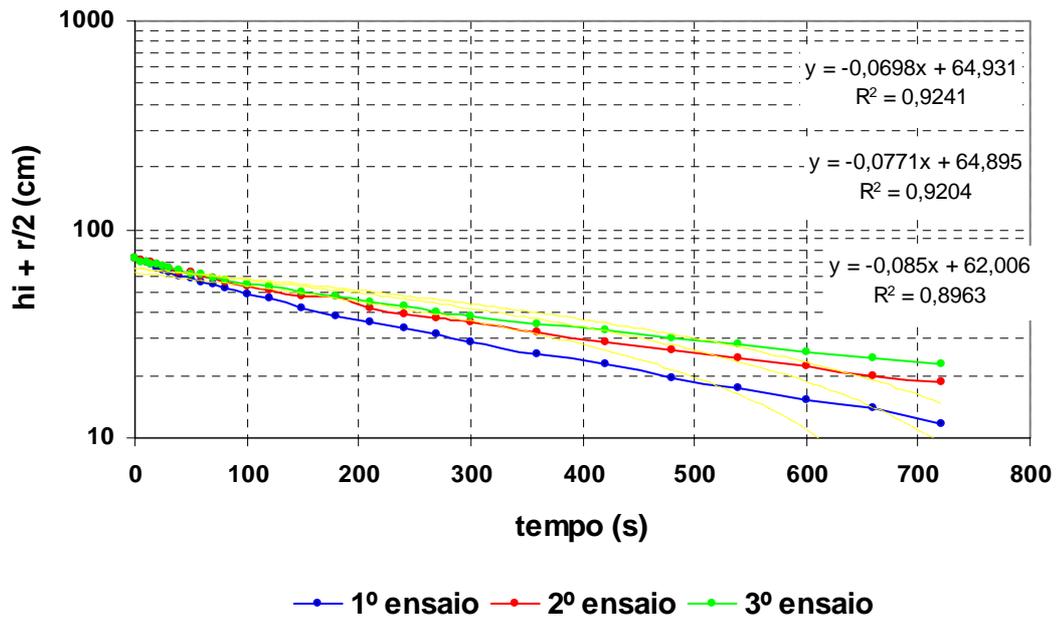
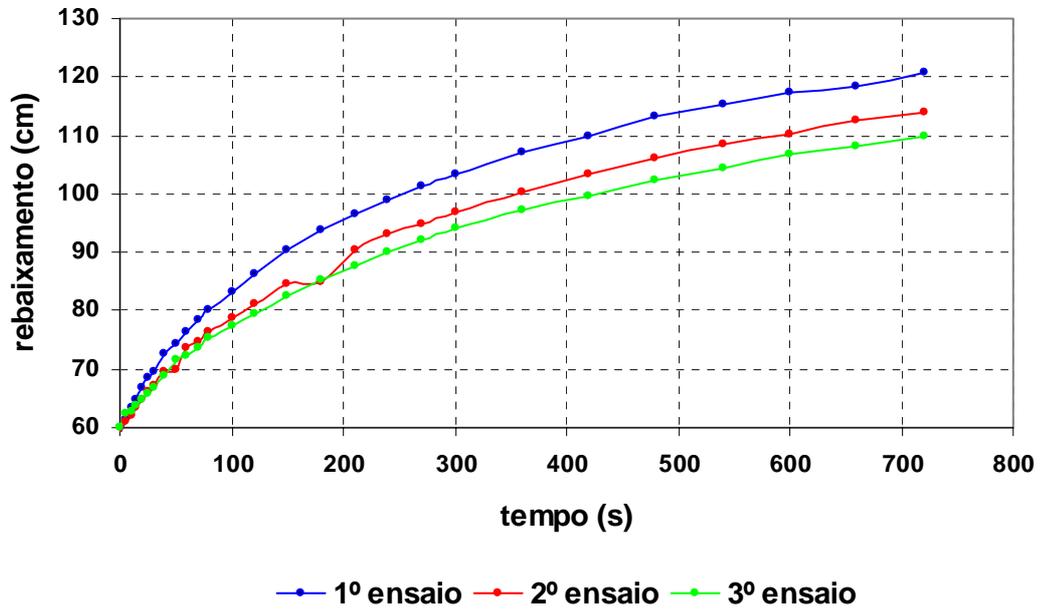
K1 =	9,72E-02	m/dia	4,05E-01	cm/h	2,70E-05
K2 =	7,47E-02	m/dia	3,11E-01	cm/h	2,07E-05
K3 =	6,42E-02	m/dia	2,67E-01	cm/h	1,78E-05

Furo N° 27



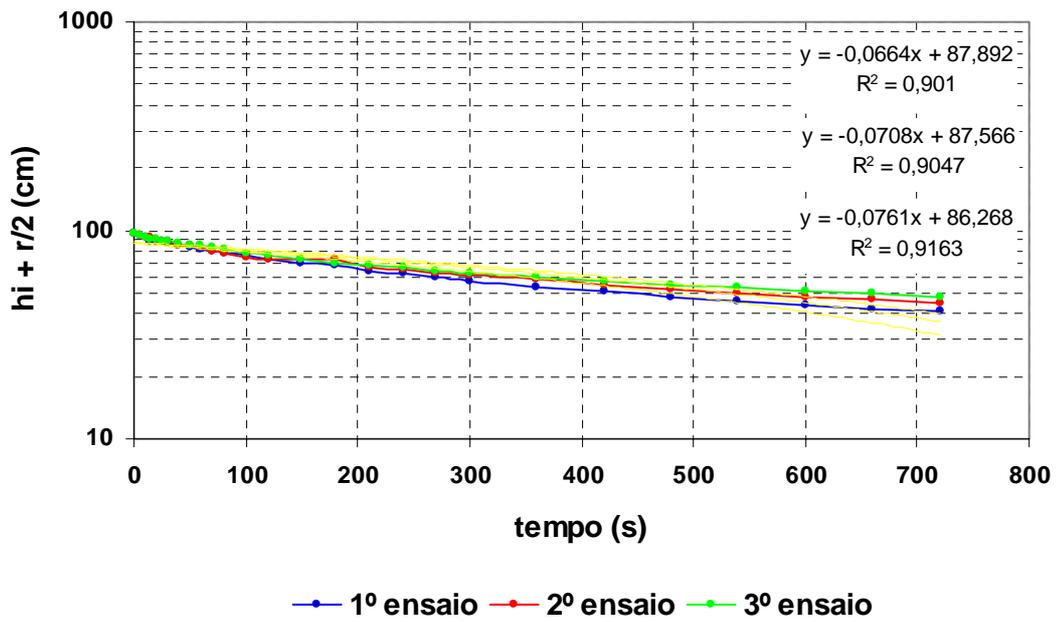
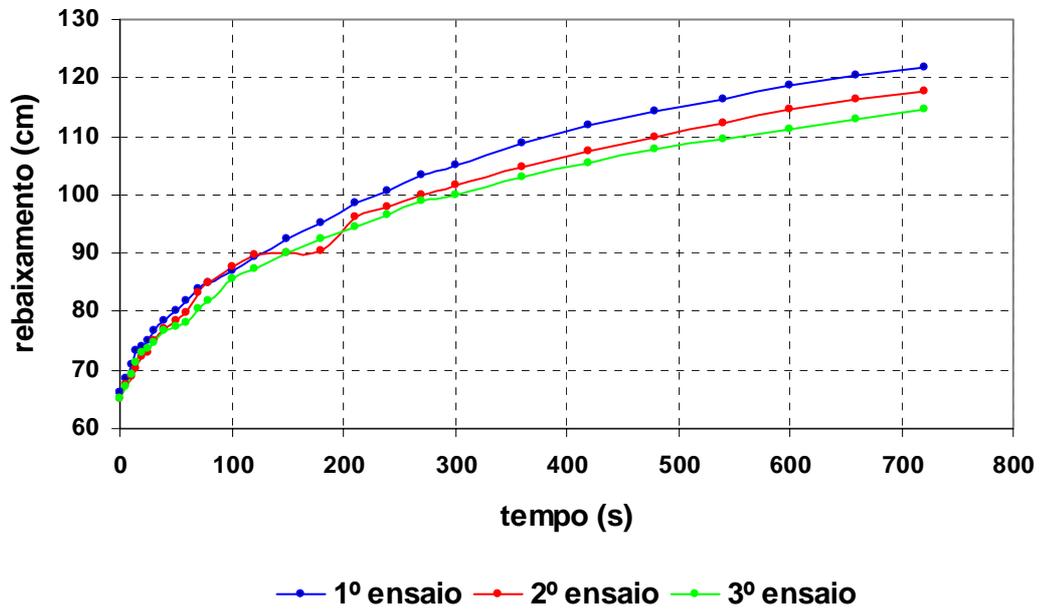
K1 =	1,85E-01 m/dia	7,72E-01 cm/h	5,15E-05
K2 =	5,57E-02 m/dia	2,32E-01 cm/h	1,55E-05

Furo N° 28



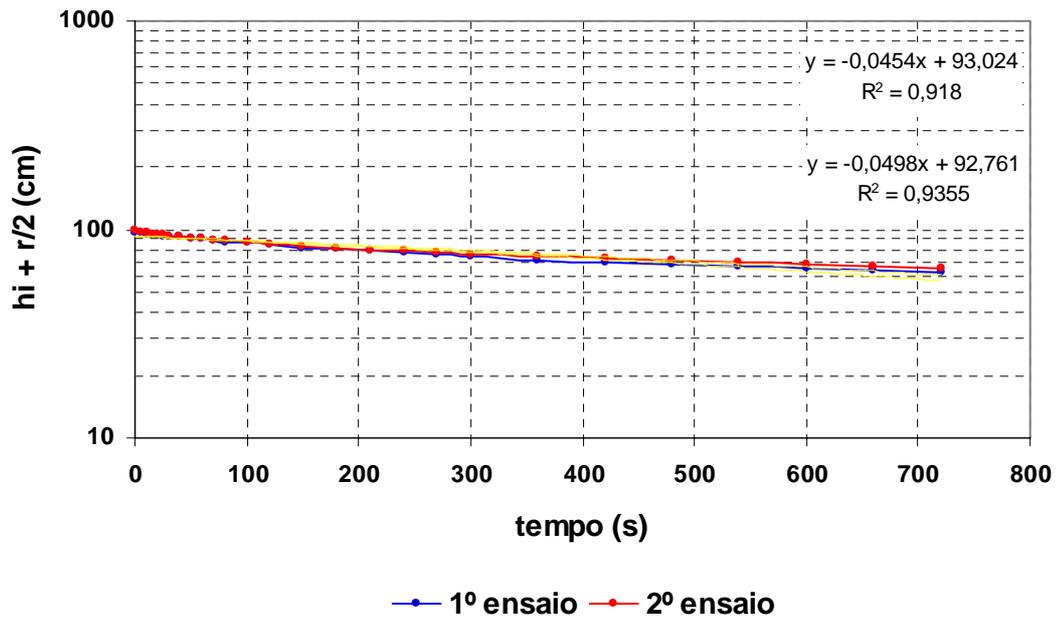
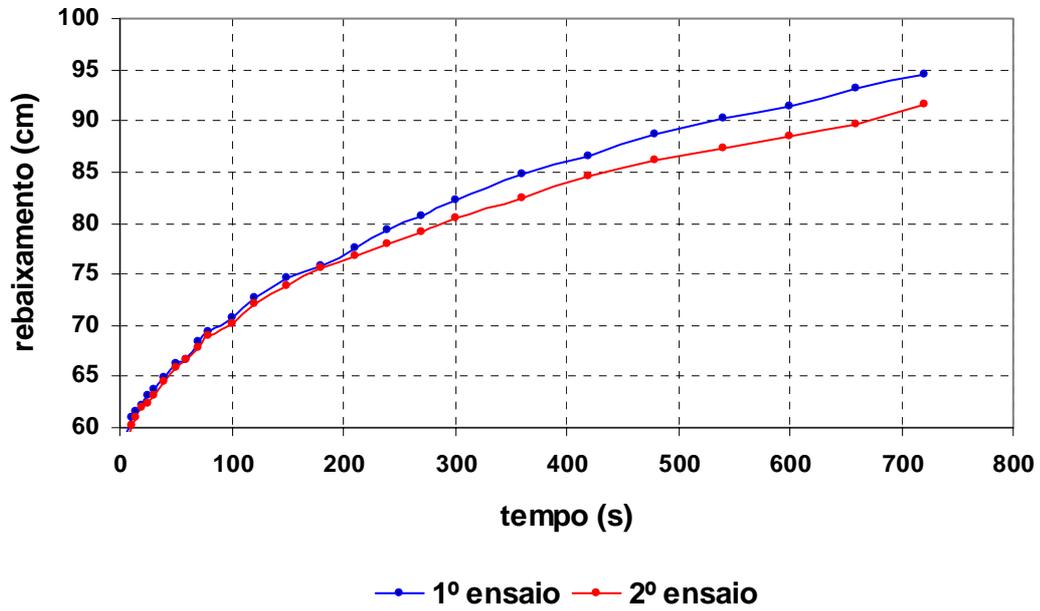
K1 =	1,71E-01	m/dia	7,13E-01	cm/h	4,75E-05
K2 =	1,55E-01	m/dia	6,47E-01	cm/h	4,31E-05
K3 =	1,40E-01	m/dia	5,85E-01	cm/h	3,90E-05

Furo N° 29



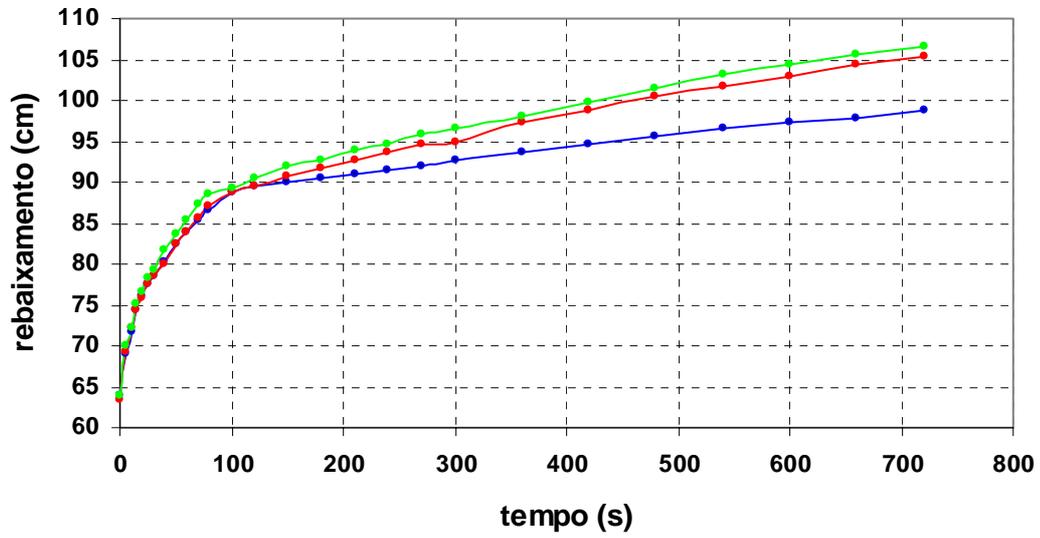
K1 =	1,53E-01	m/dia	6,38E-01	cm/h	4,25E-05
K2 =	1,42E-01	m/dia	5,94E-01	cm/h	3,96E-05
K3 =	1,34E-01	m/dia	5,57E-01	cm/h	3,71E-05

Furo N° 30

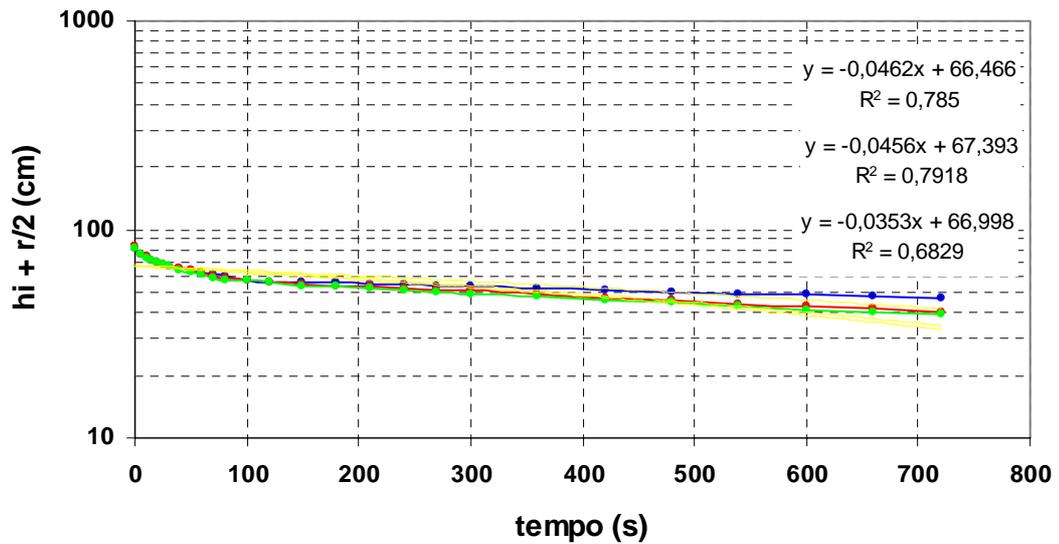


K1 =	1,00E-01	m/dia	4,18E-01	cm/h	2,78E-05
K2 =	9,14E-02	m/dia	3,81E-01	cm/h	2,54E-05

Furo N° 31



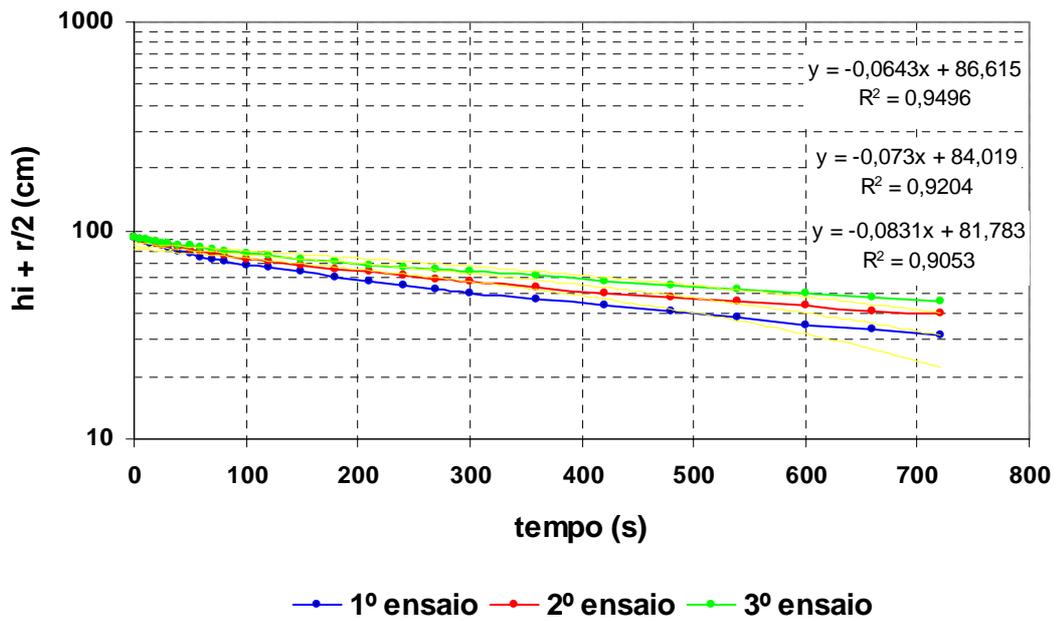
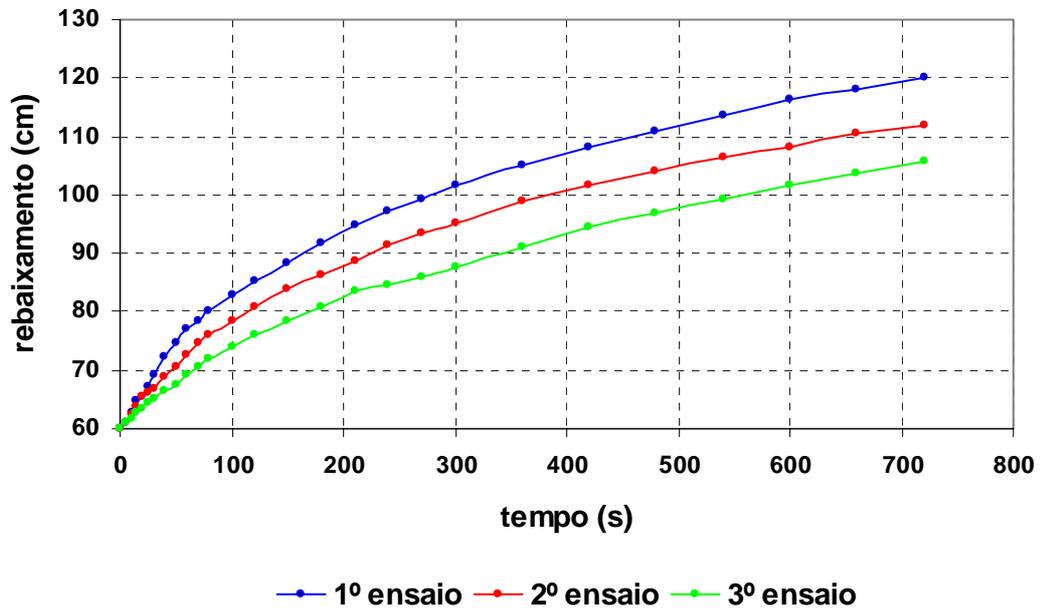
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

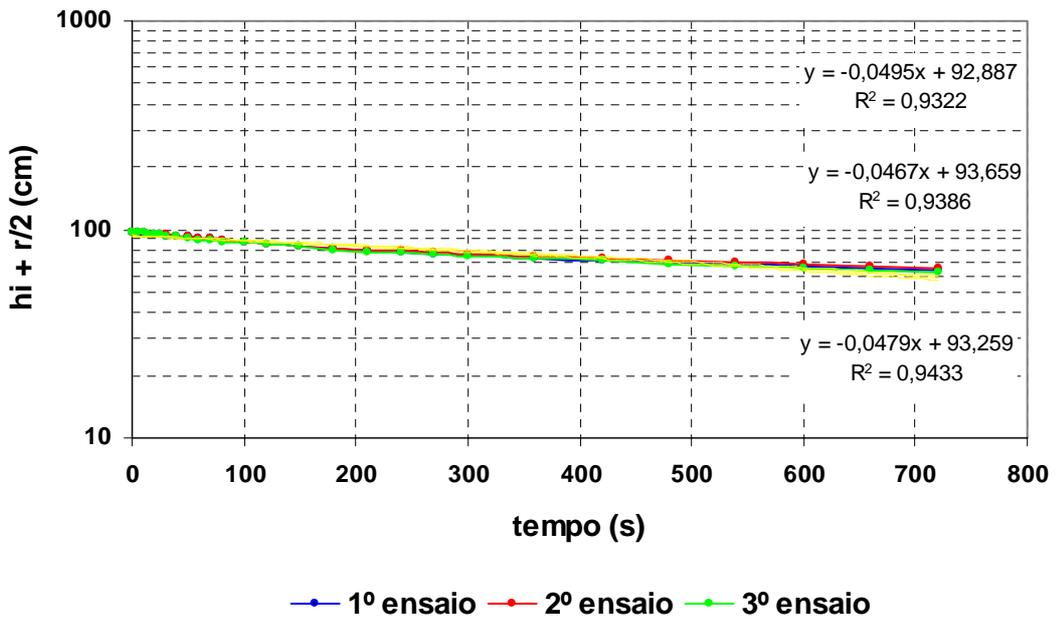
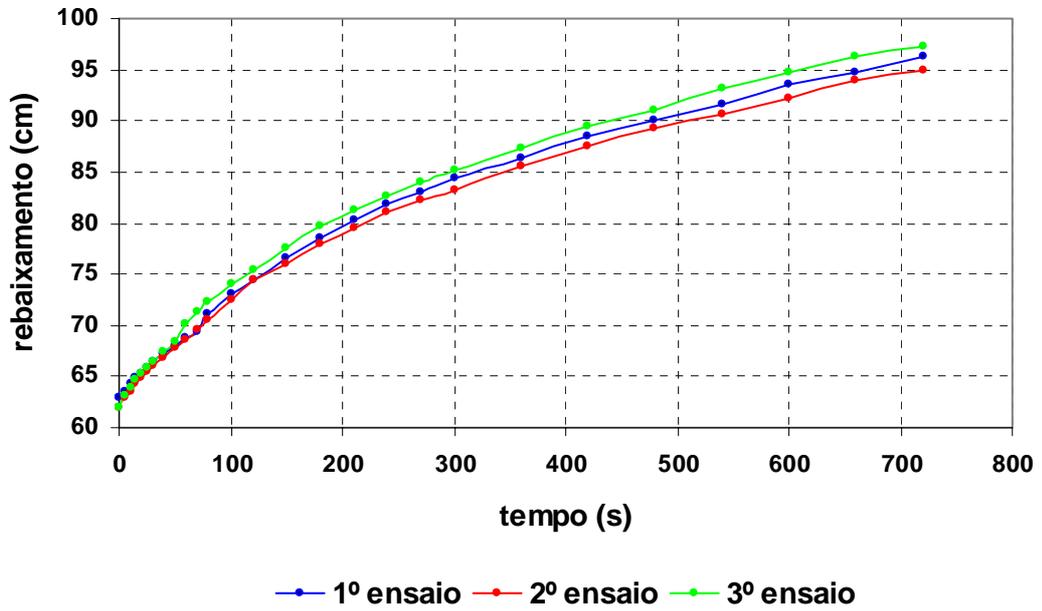
K1 =	7,10E-02	m/dia	2,96E-01	cm/h	1,97E-05
K2 =	9,18E-02	m/dia	3,82E-01	cm/h	2,55E-05
K3 =	9,30E-02	m/dia	3,87E-01	cm/h	2,58E-05

Furo N° 32



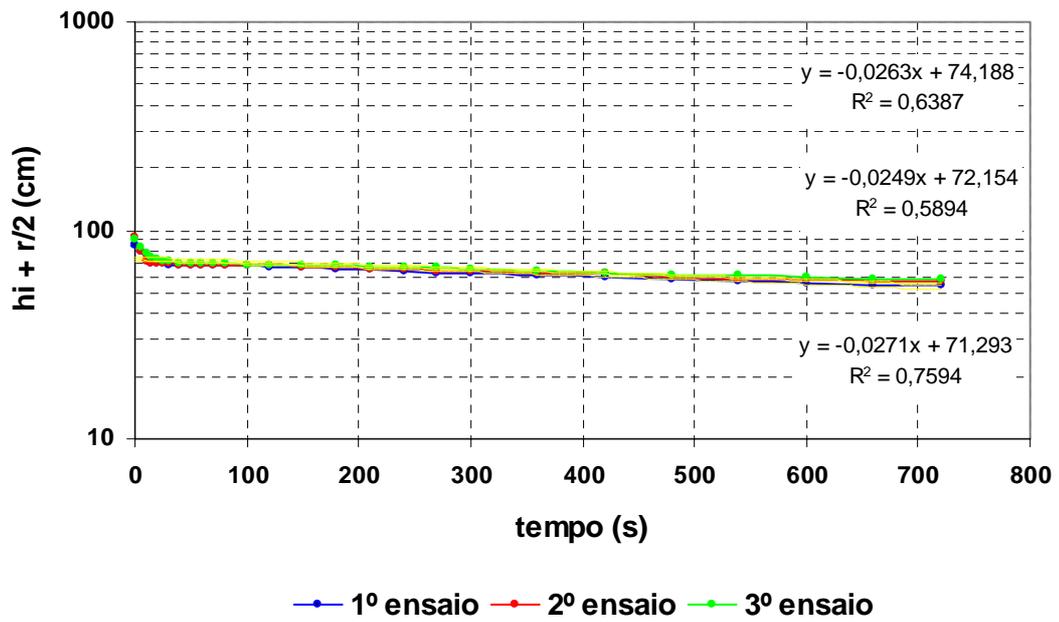
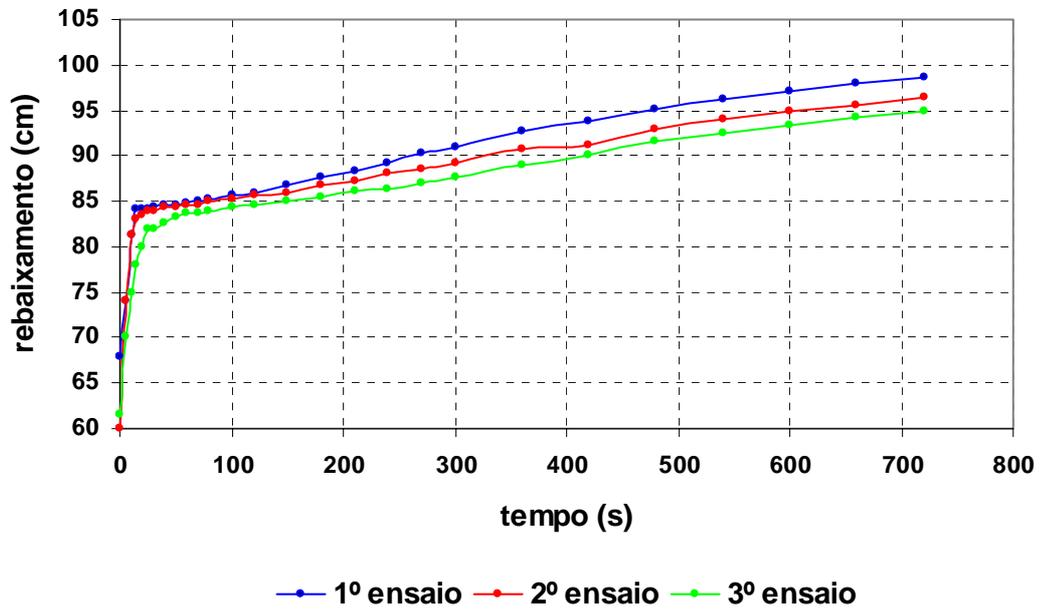
K1 =	1,67E-01	m/dia	6,97E-01	cm/h	4,65E-05
K2 =	1,47E-01	m/dia	6,12E-01	cm/h	4,08E-05
K3 =	1,29E-01	m/dia	5,39E-01	cm/h	3,59E-05

Furo N° 33



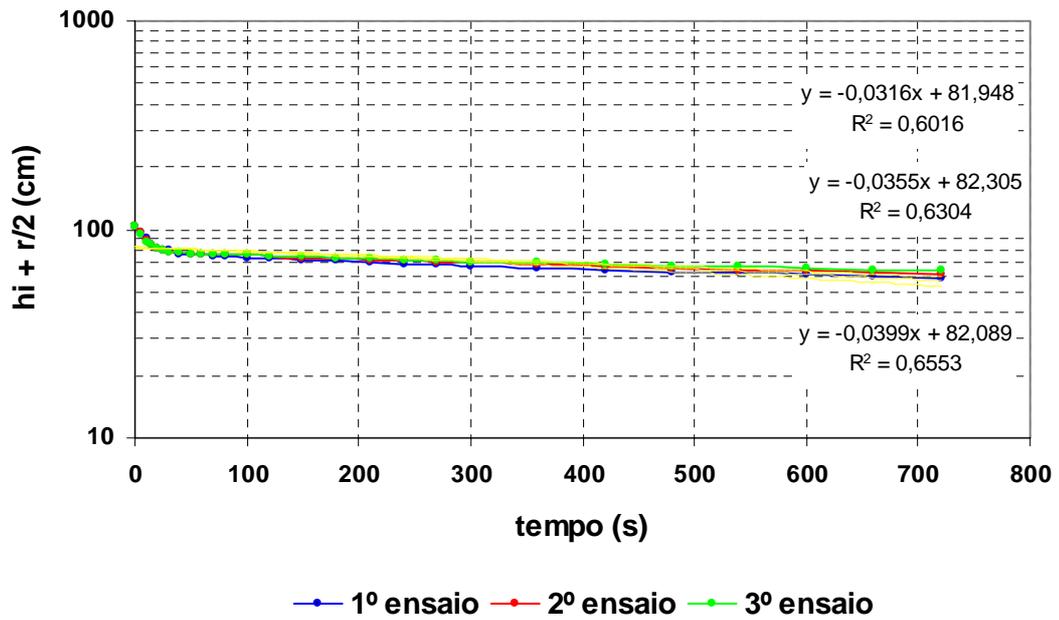
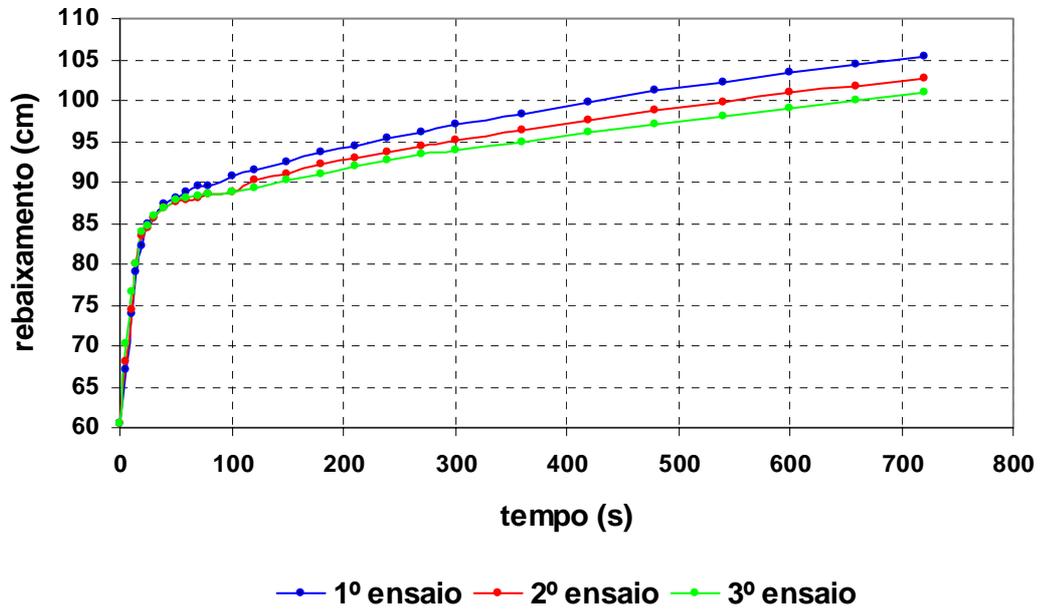
K1 =	9,64E-02	m/dia	4,02E-01	cm/h	2,68E-05
K2 =	9,40E-02	m/dia	3,92E-01	cm/h	2,61E-05
K3 =	9,96E-02	m/dia	4,15E-01	cm/h	2,77E-05

Furo N° 34



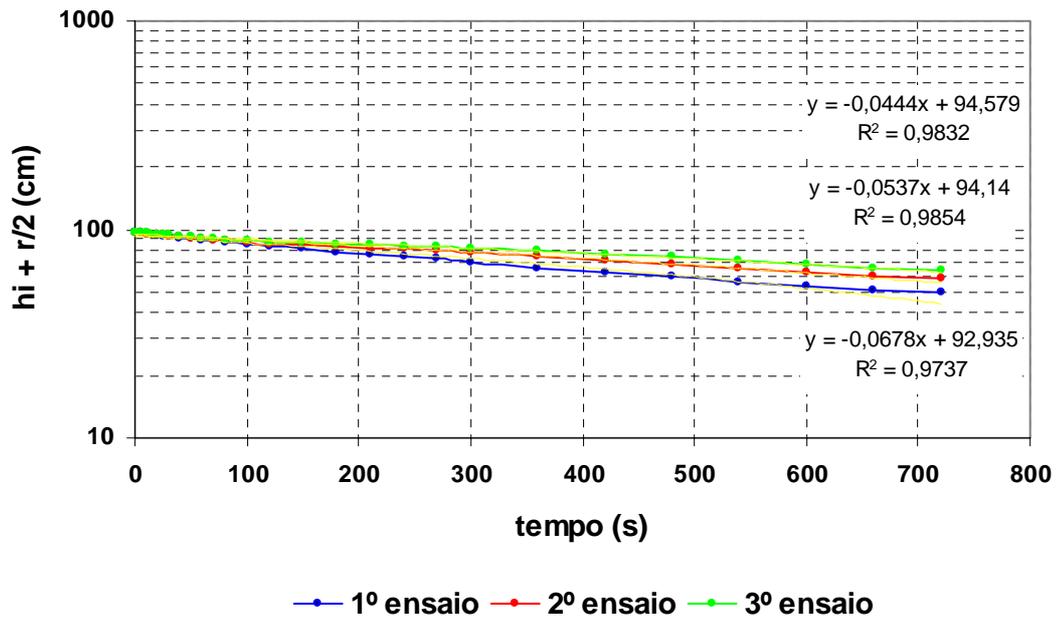
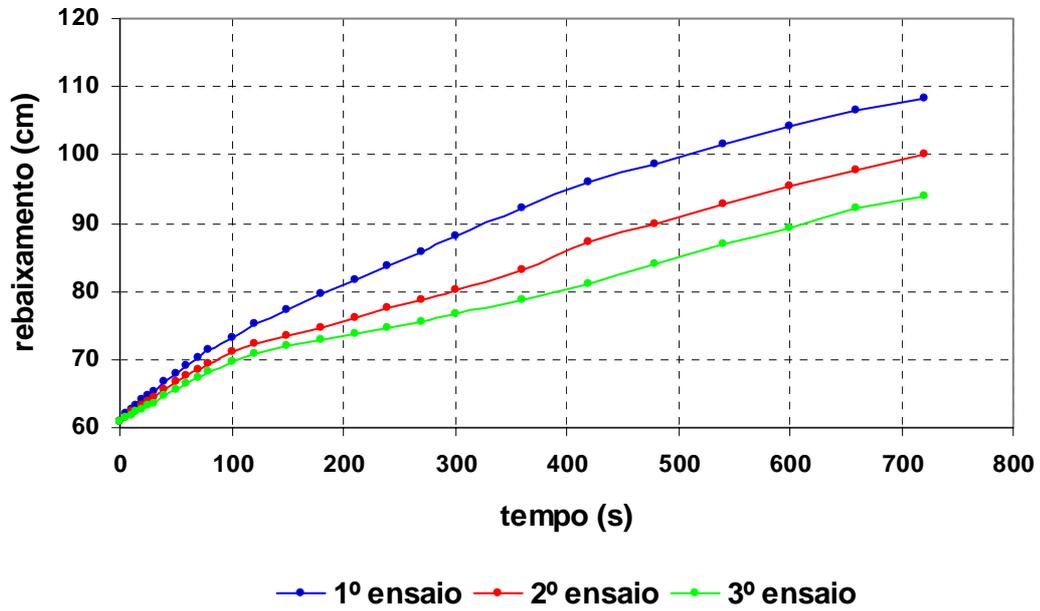
K1 =	5,45E-02	m/dia	2,27E-01	cm/h	1,51E-05
K2 =	5,01E-02	m/dia	2,09E-01	cm/h	1,39E-05
K3 =	5,29E-02	m/dia	2,21E-01	cm/h	1,47E-05

Furo N° 35



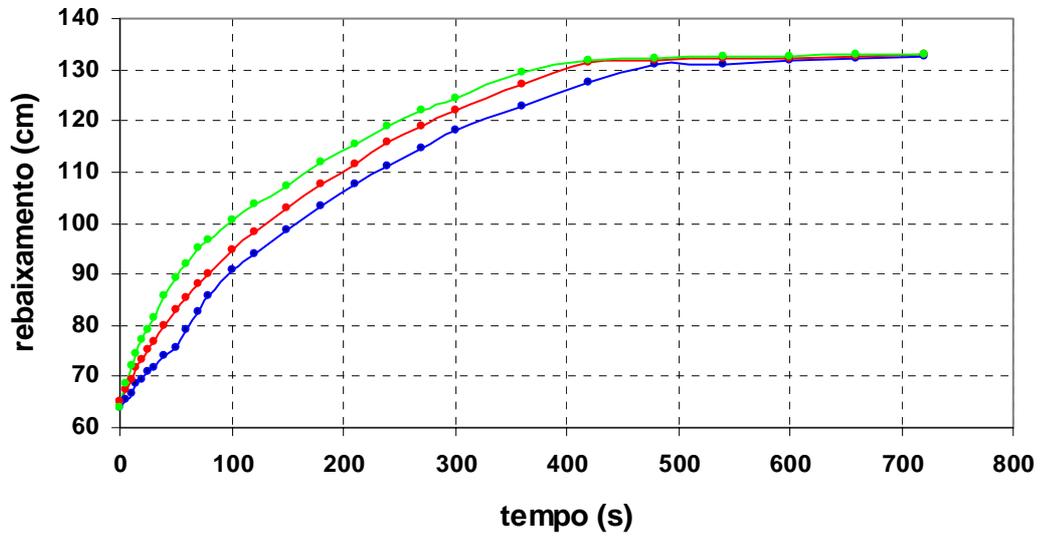
K1 =	8,03E-02	m/dia	3,35E-01	cm/h	2,23E-05
K2 =	7,14E-02	m/dia	2,98E-01	cm/h	1,98E-05
K3 =	6,36E-02	m/dia	2,65E-01	cm/h	1,77E-05

Furo N° 36

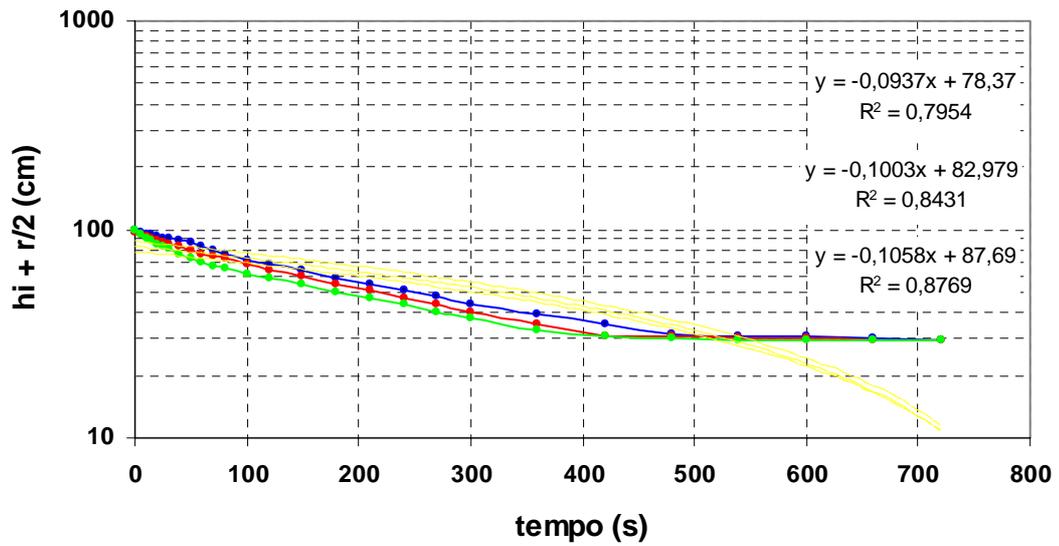


K1 =	1,36E-01	m/dia	5,69E-01	cm/h	3,79E-05
K2 =	1,08E-01	m/dia	4,50E-01	cm/h	3,00E-05
K3 =	8,94E-02	m/dia	3,72E-01	cm/h	2,48E-05

Furo N° 37



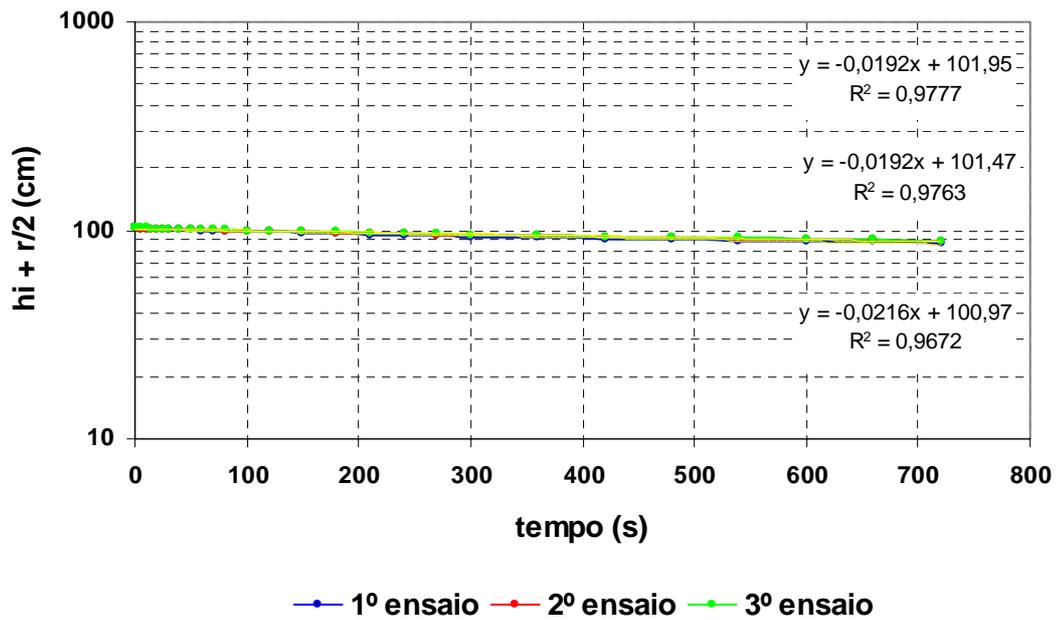
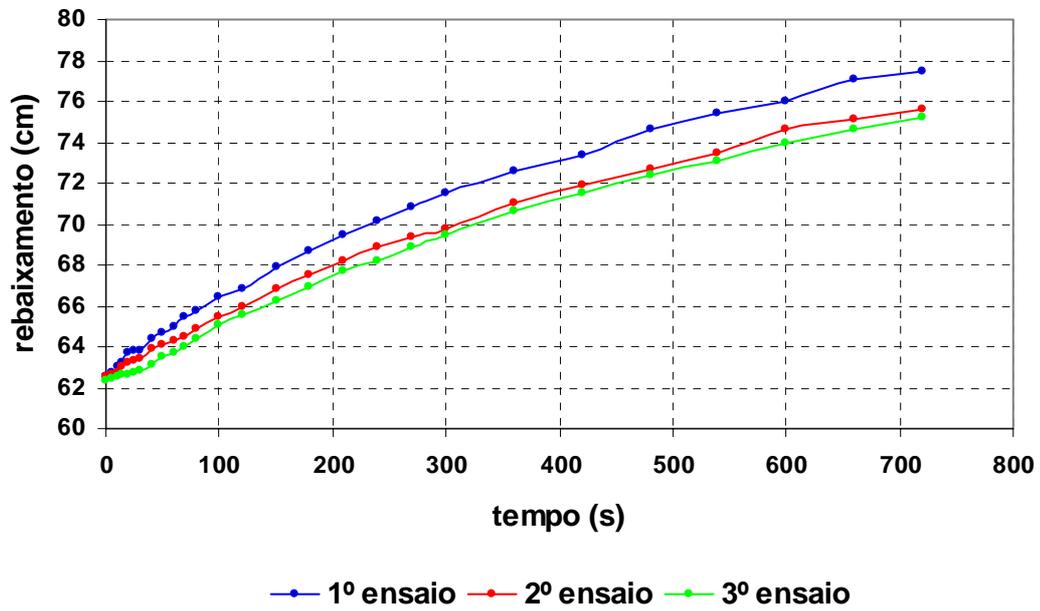
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

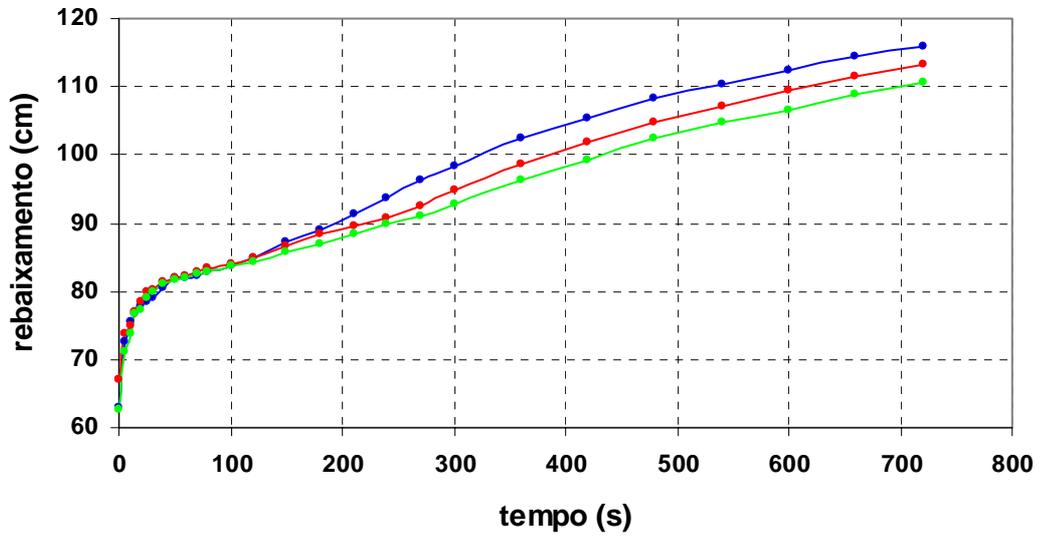
K1 =	2,13E-01	m/dia	8,87E-01	cm/h	5,91E-05
K2 =	2,02E-01	m/dia	8,41E-01	cm/h	5,61E-05
K3 =	1,89E-01	m/dia	7,86E-01	cm/h	5,24E-05

Furo N° 38

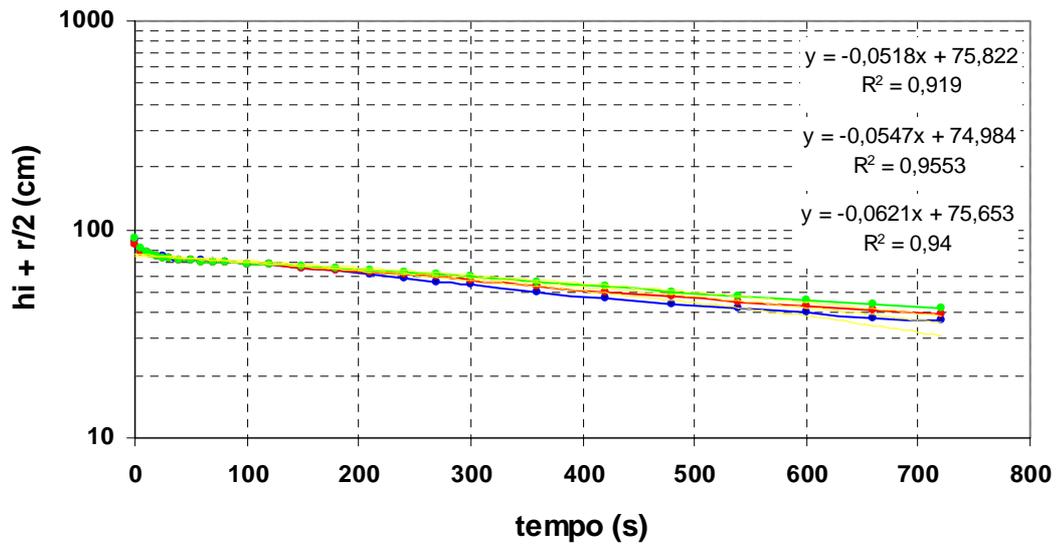


K1 =	4,35E-02	m/dia	1,81E-01	cm/h	1,21E-05
K2 =	3,86E-02	m/dia	1,61E-01	cm/h	1,07E-05
K3 =	3,86E-02	m/dia	1,61E-01	cm/h	1,07E-05

Furo N° 39



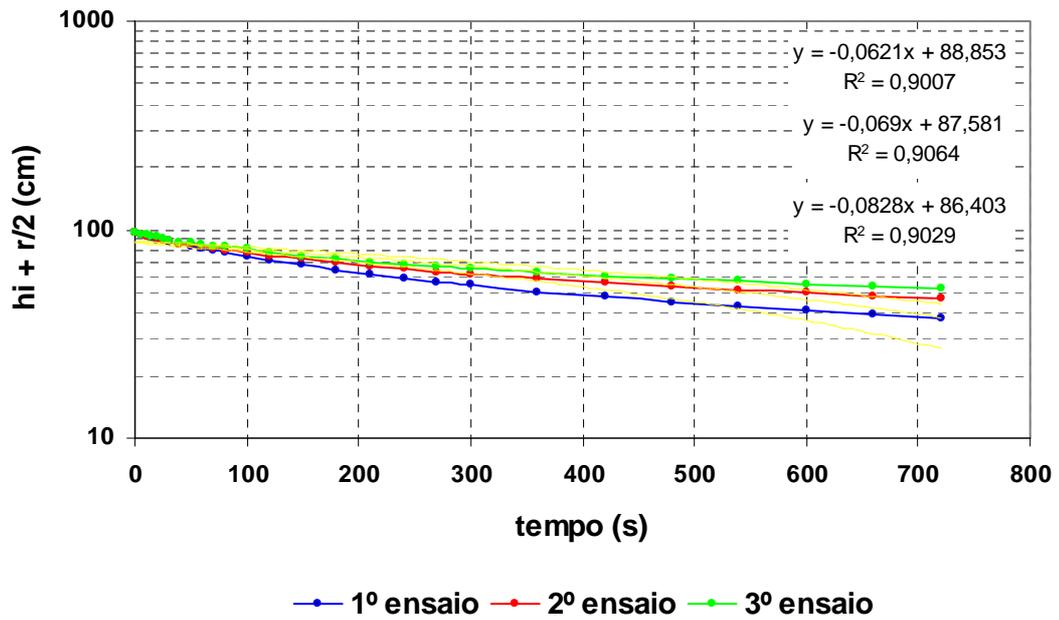
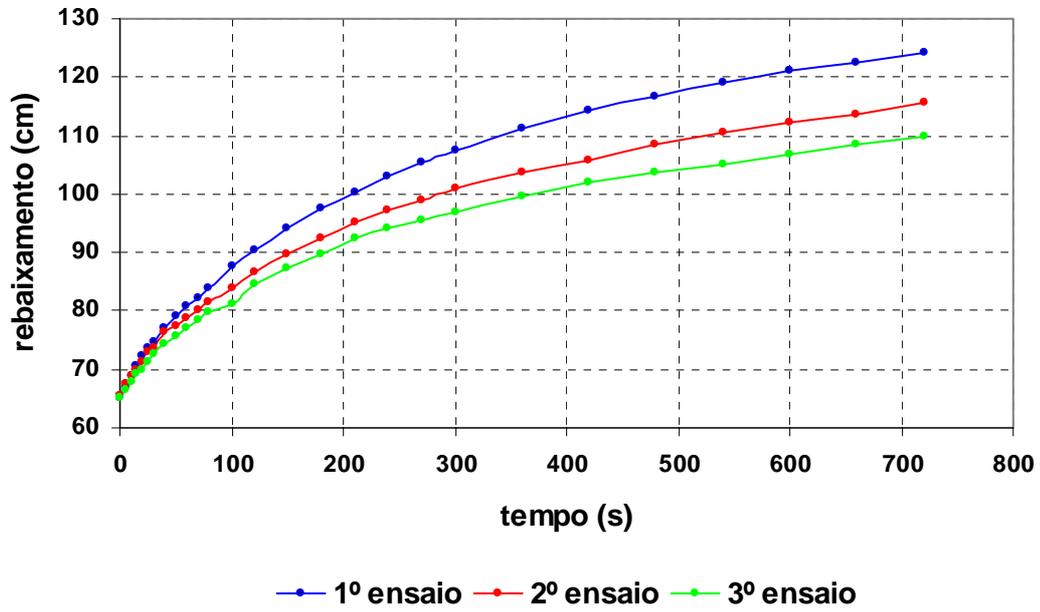
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

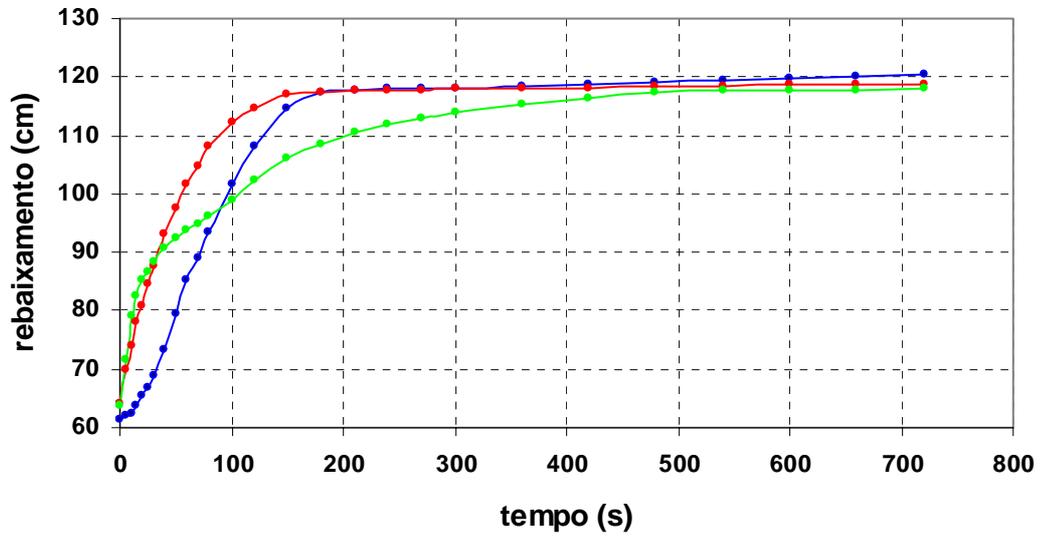
K1 =	1,25E-01 m/dia	5,21E-01 cm/h	3,47E-05
K2 =	1,10E-01 m/dia	4,59E-01 cm/h	3,06E-05
K3 =	1,04E-01 m/dia	4,34E-01 cm/h	2,90E-05

Furo N° 40

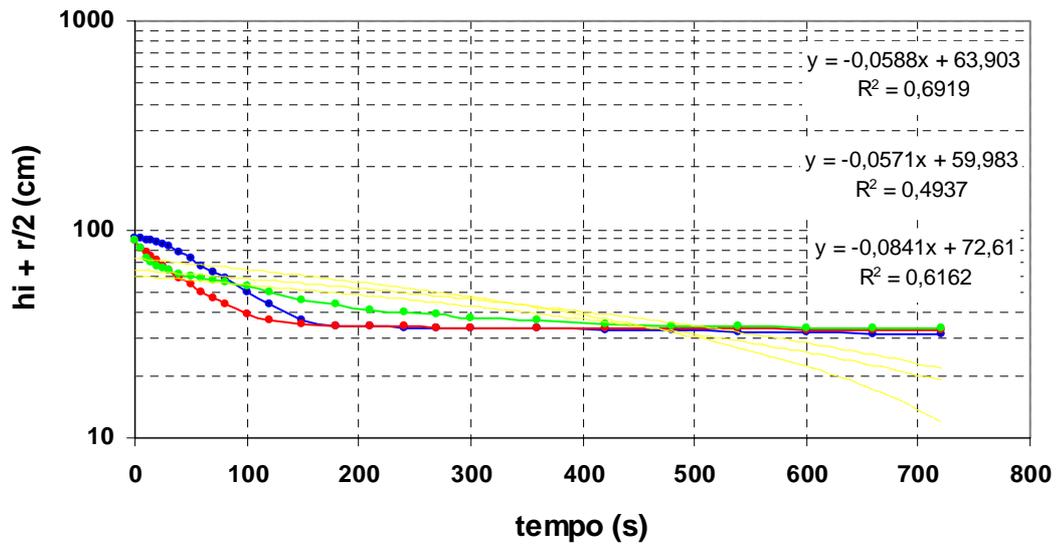


K1 =	1,67E-01	m/dia	6,94E-01	cm/h	4,63E-05
K2 =	1,39E-01	m/dia	5,79E-01	cm/h	3,86E-05
K3 =	1,25E-01	m/dia	5,21E-01	cm/h	3,47E-05

Furo N° 41



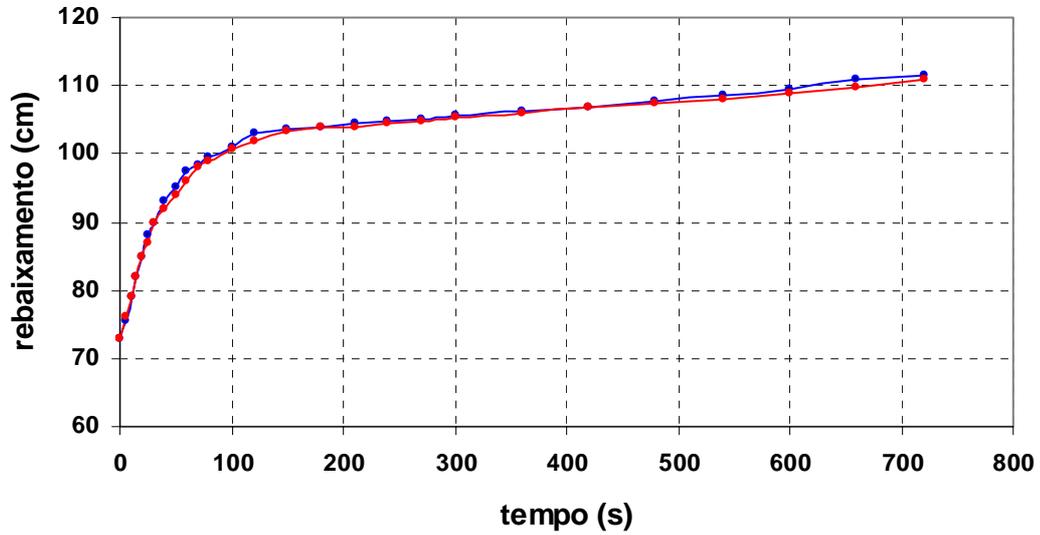
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



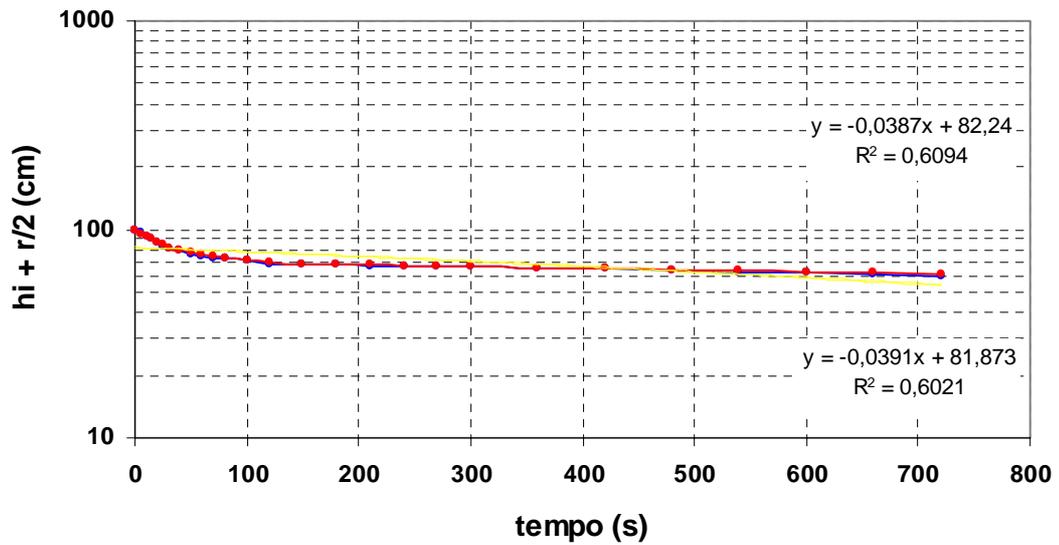
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

K1 =	1,69E-01	m/dia	7,05E-01	cm/h	4,70E-05
K2 =	1,15E-01	m/dia	4,79E-01	cm/h	3,19E-05
K3 =	1,18E-01	m/dia	4,93E-01	cm/h	3,29E-05

Furo N° 42



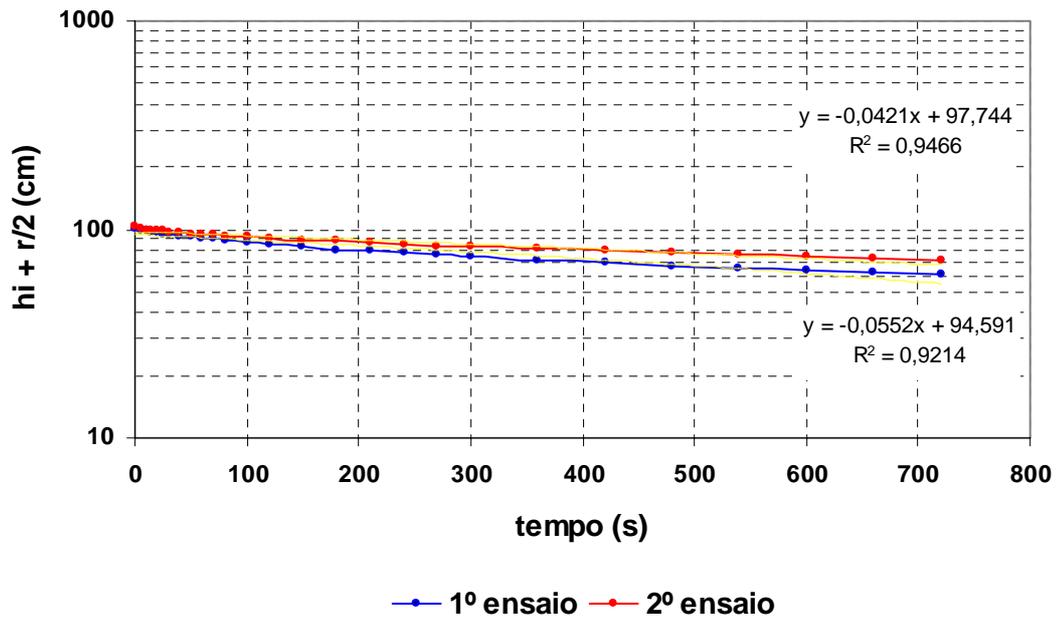
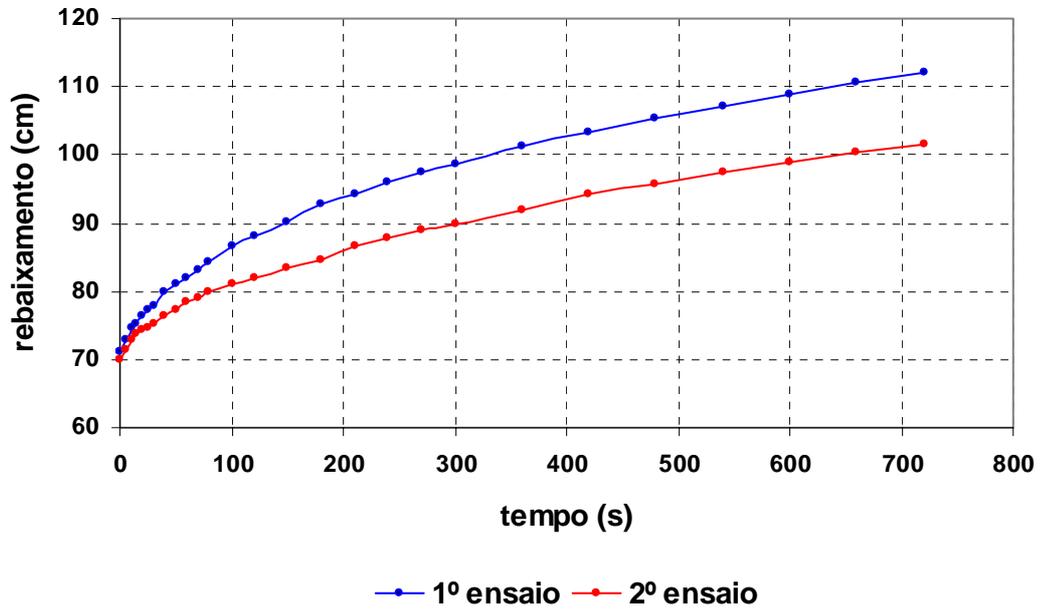
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio

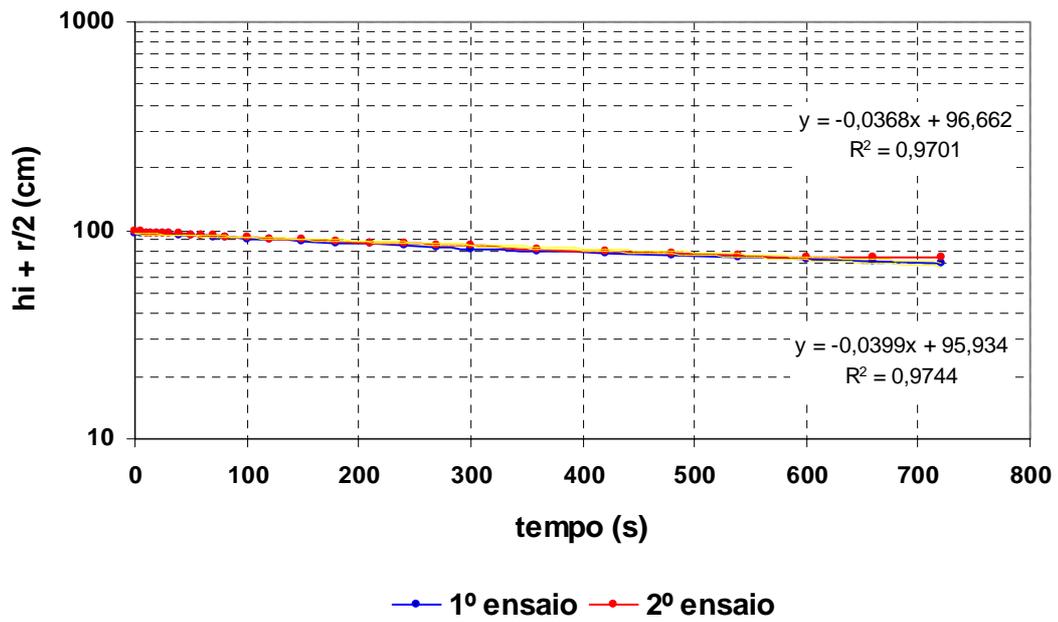
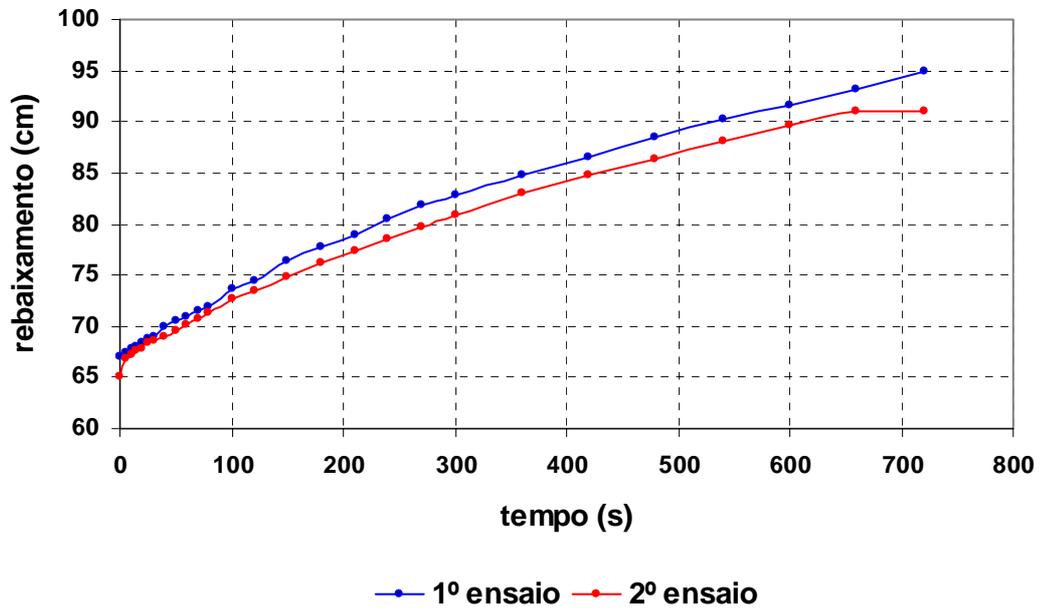
K1 =	7,87E-02 m/dia	3,28E-01 cm/h	2,19E-05
K2 =	7,79E-02 m/dia	3,25E-01 cm/h	2,16E-05

Furo N° 43



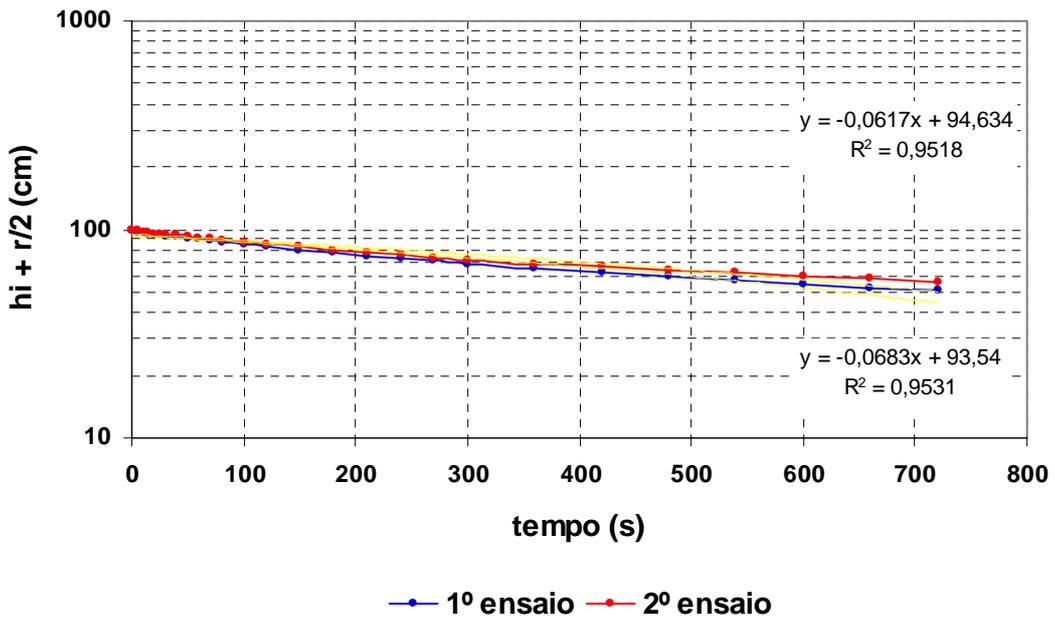
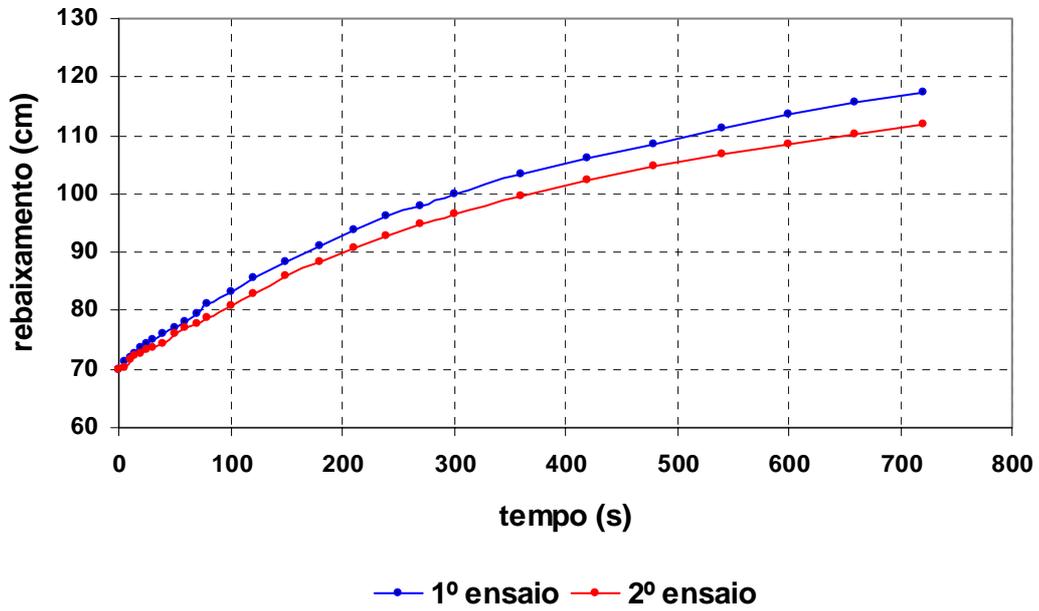
K1 =	1,11E-01 m/dia	4,63E-01 cm/h	3,09E-05
K2 =	8,47E-02 m/dia	3,53E-01 cm/h	2,35E-05

Furo N° 44



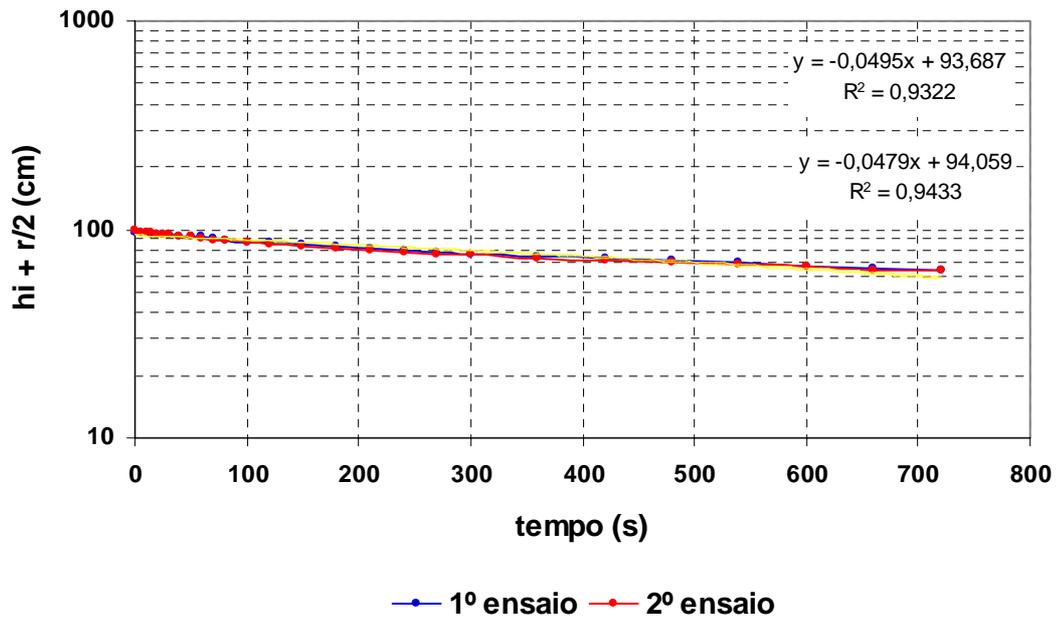
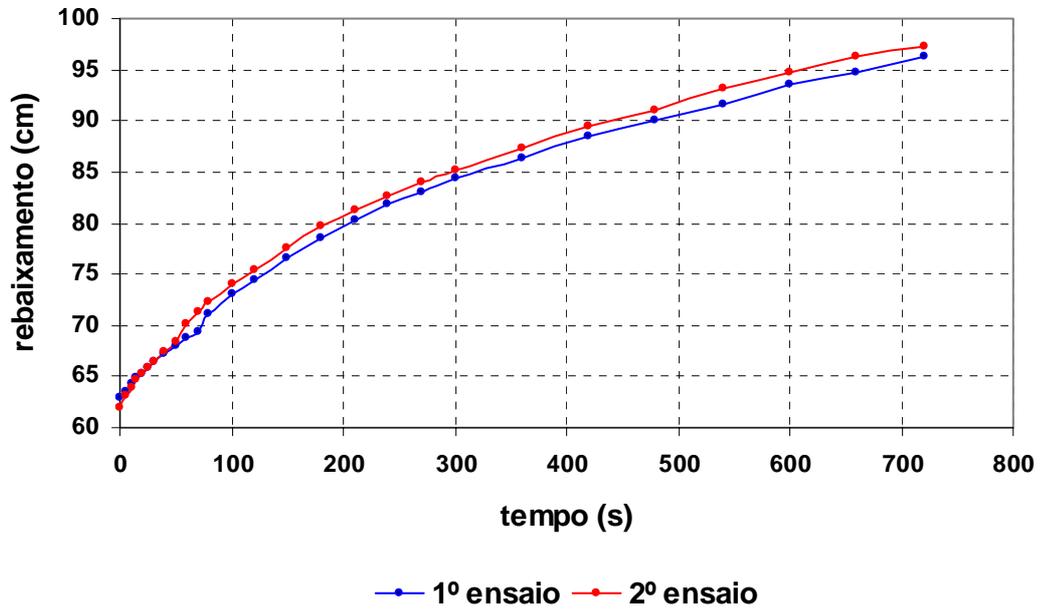
K1 =	8,03E-02 m/dia	3,35E-01 cm/h	2,23E-05
K2 =	7,41E-02 m/dia	3,09E-01 cm/h	2,06E-05

Furo N° 45



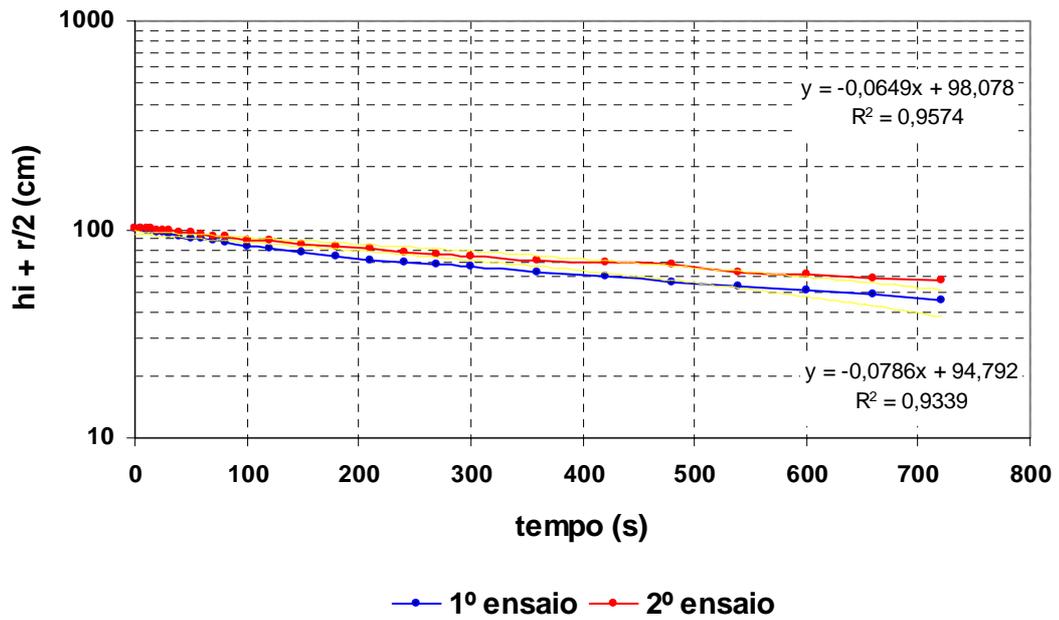
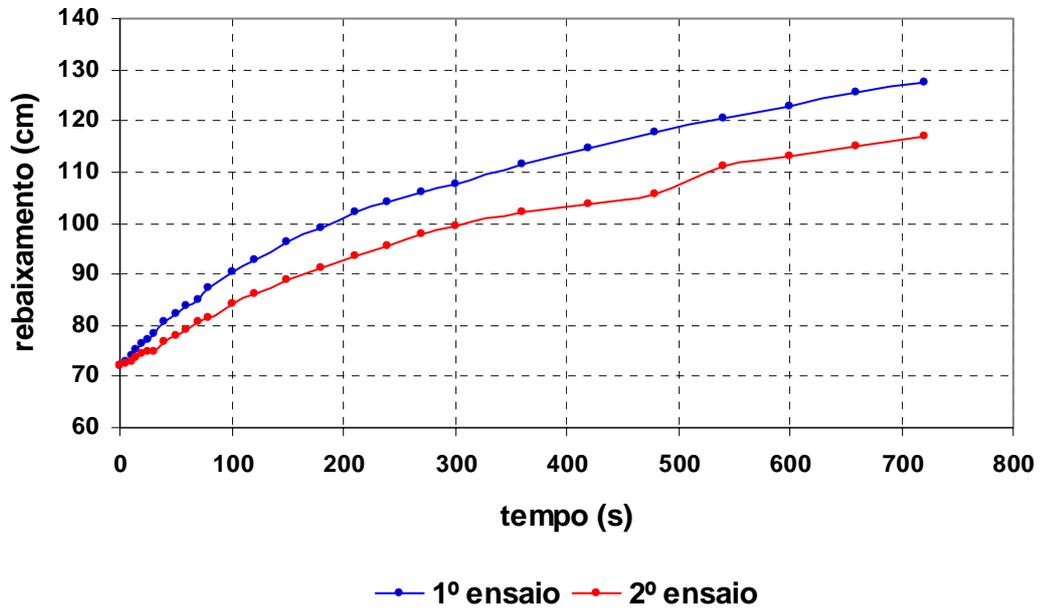
K1 =	1,37E-01	m/dia	5,73E-01	cm/h	3,82E-05
K2 =	1,24E-01	m/dia	5,17E-01	cm/h	3,45E-05

Furo N° 46



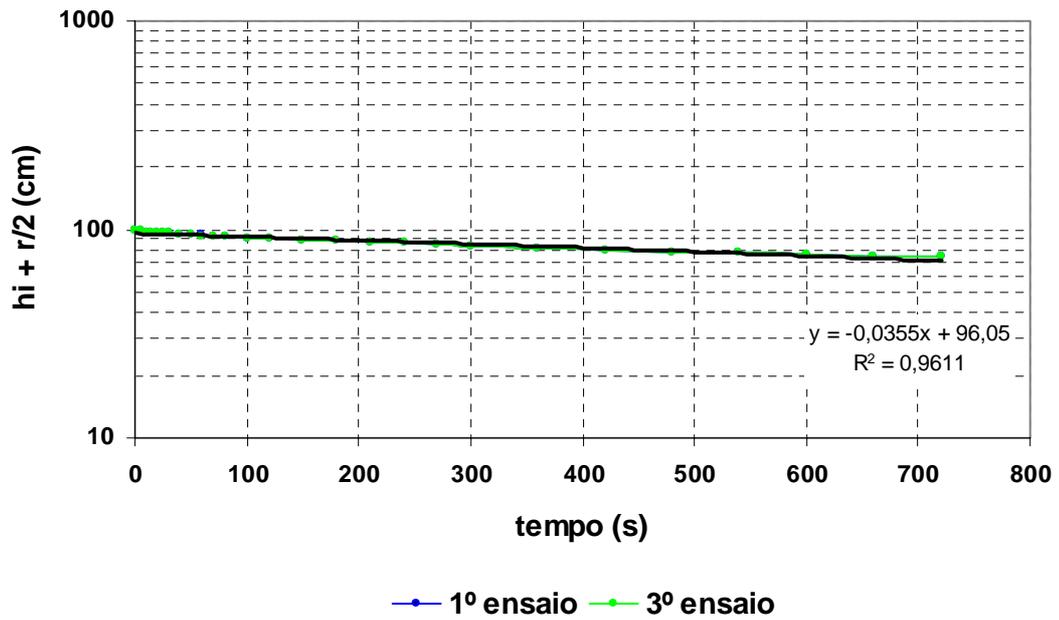
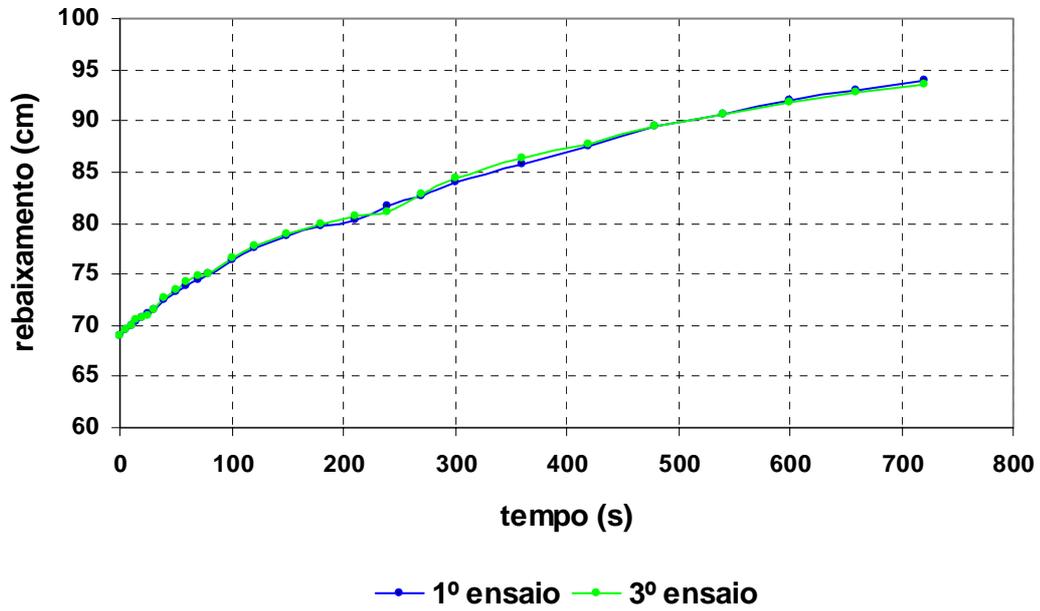
K1 =	9,64E-02 m/dia	4,02E-01 cm/h	2,68E-05
K2 =	9,96E-02 m/dia	4,15E-01 cm/h	2,77E-05

Furo N° 47



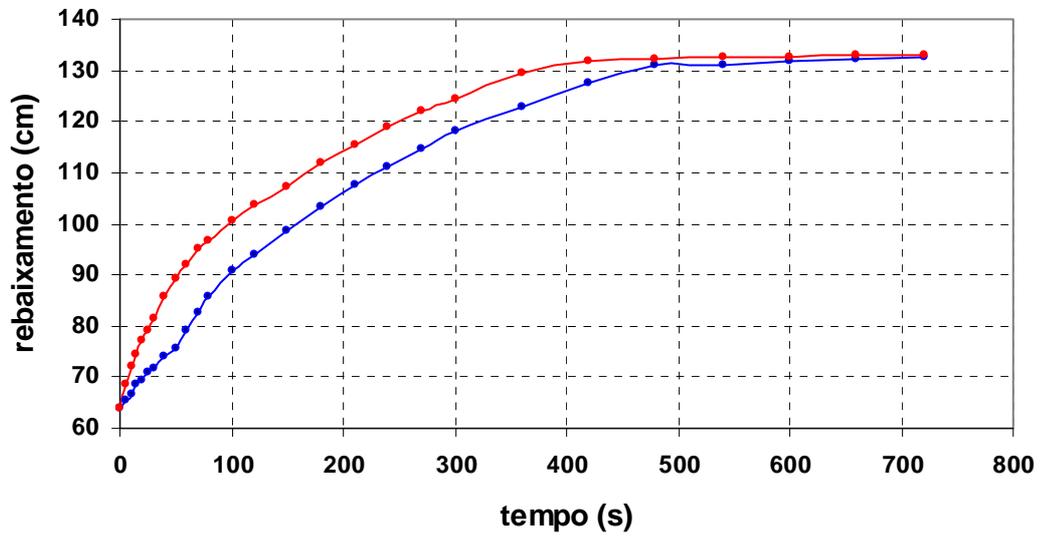
K1 =	1,58E-01 m/dia	6,59E-01 cm/h	4,39E-05
K2 =	1,31E-01 m/dia	5,44E-01 cm/h	3,63E-05

Furo N° 48

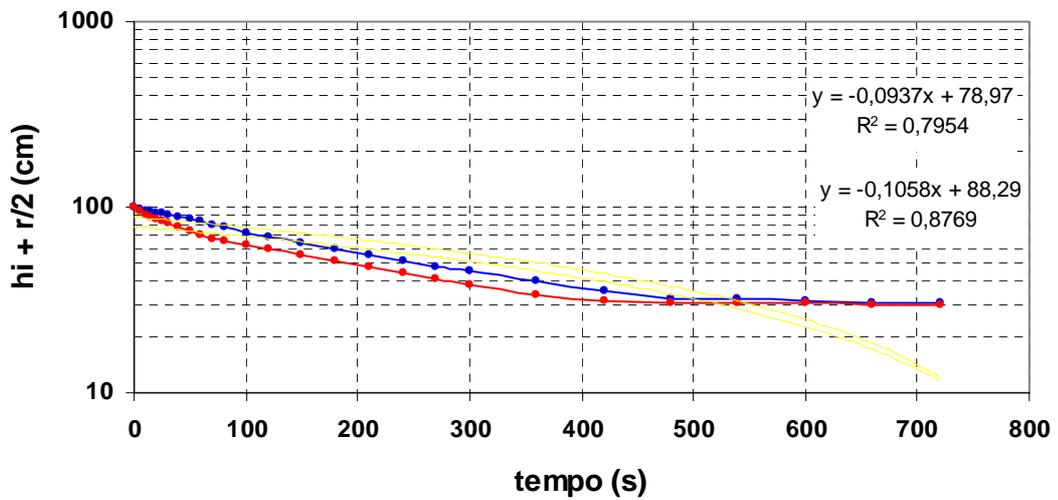


K1 =	1,48E-01	m/dia	6,15E-01	cm/h	4,10E-05
K2 =	1,37E-01	m/dia	5,71E-01	cm/h	3,81E-05
K3 =	1,40E-01	m/dia	5,82E-01	cm/h	3,88E-05

Furo N° 49



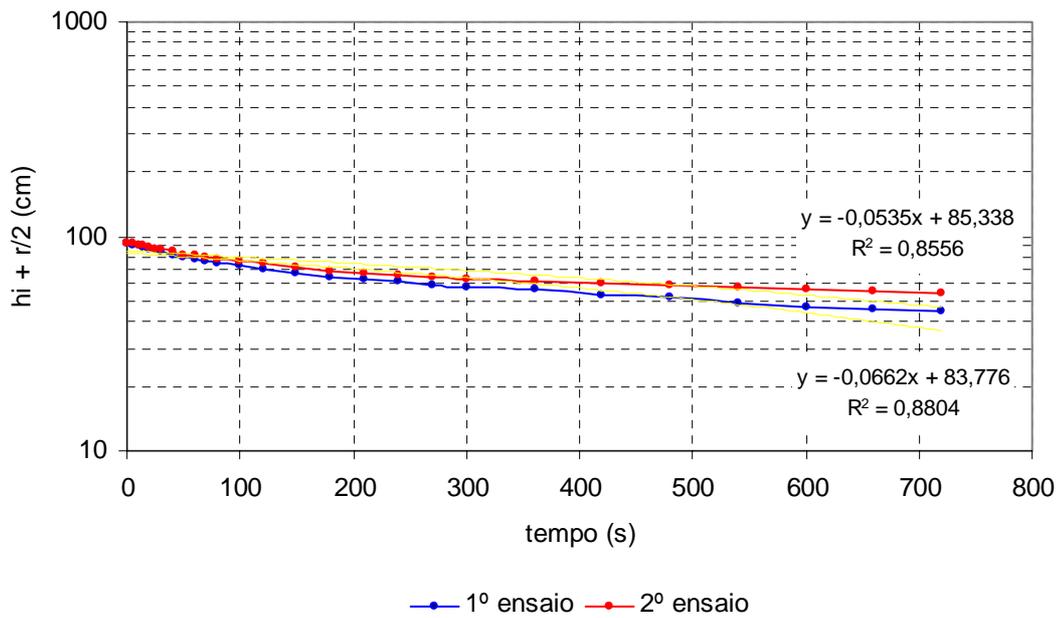
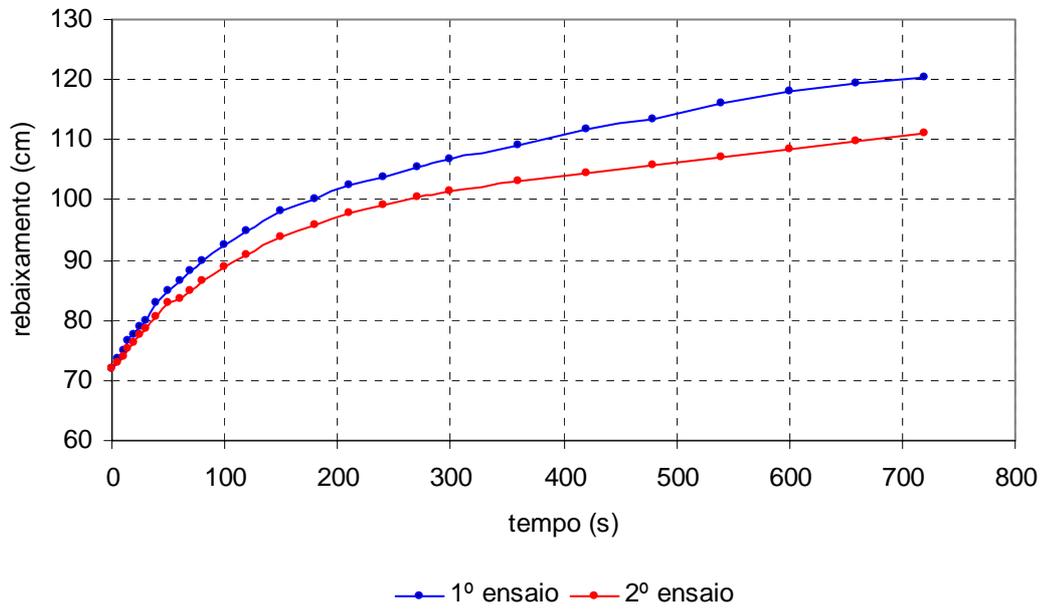
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio

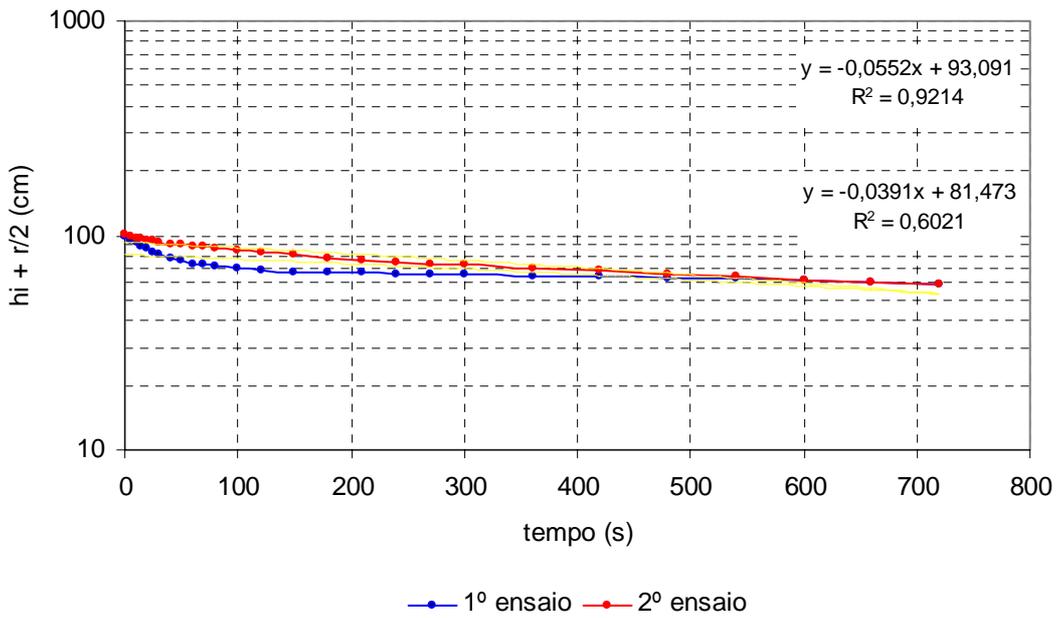
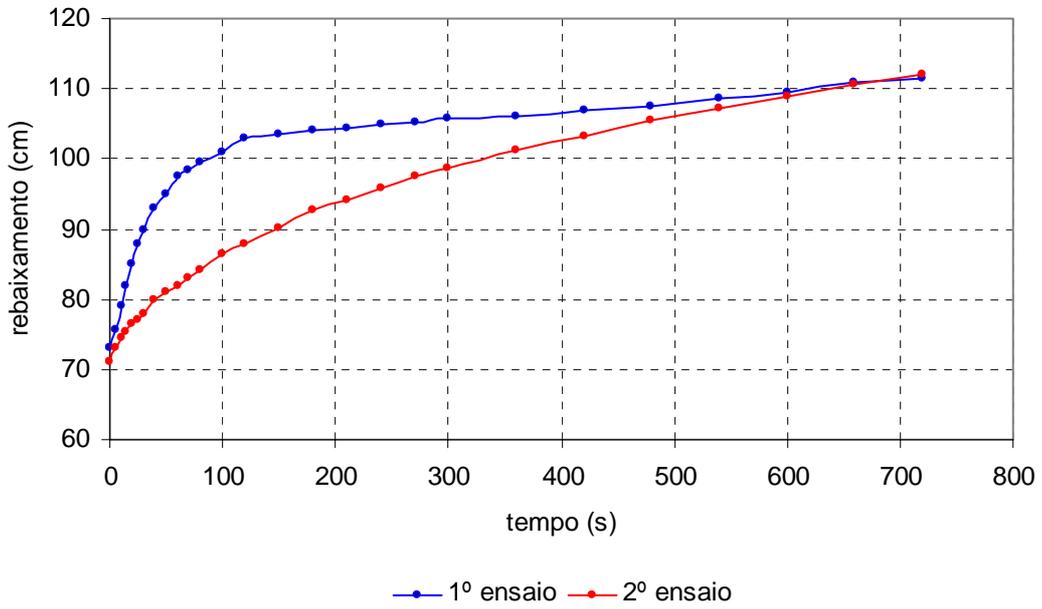
K1 =	2,13E-01 m/dia	8,87E-01 cm/h	5,91E-05
K2 =	1,89E-01 m/dia	7,86E-01 cm/h	5,24E-05

Furo N° 51



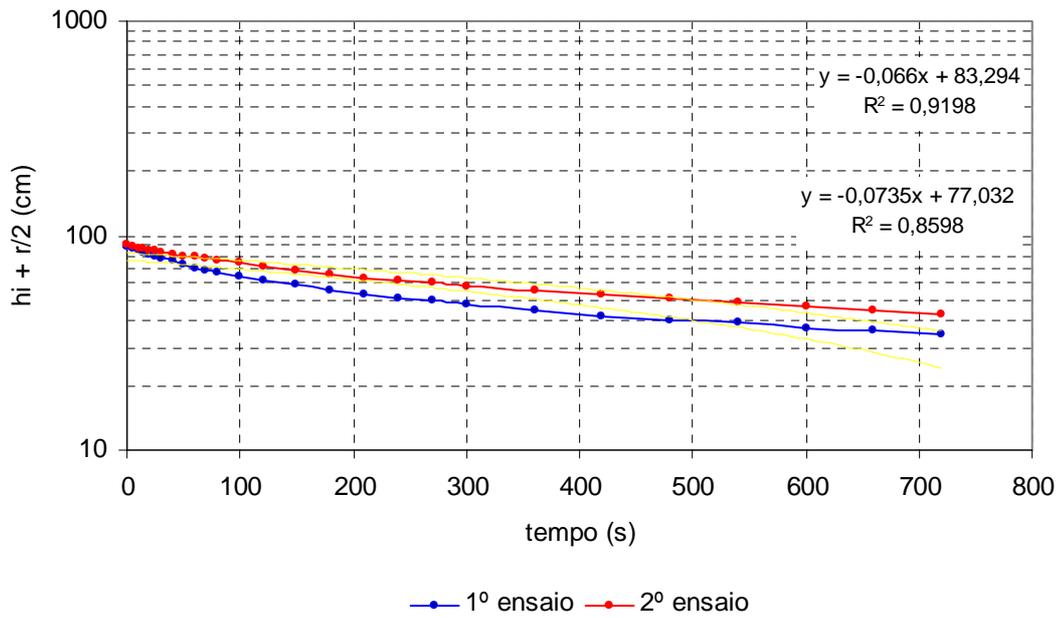
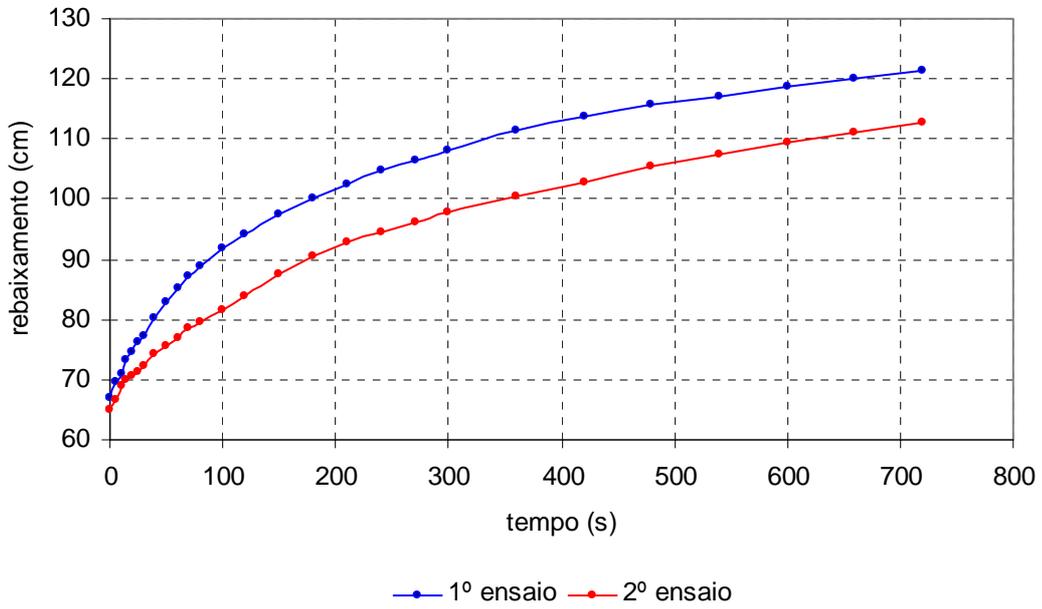
K1 =	1,33E-01	m/dia	5,55E-01	cm/h	3,70E-05
K2 =	1,08E-01	m/dia	4,49E-01	cm/h	2,99E-05

Furo Nº 52



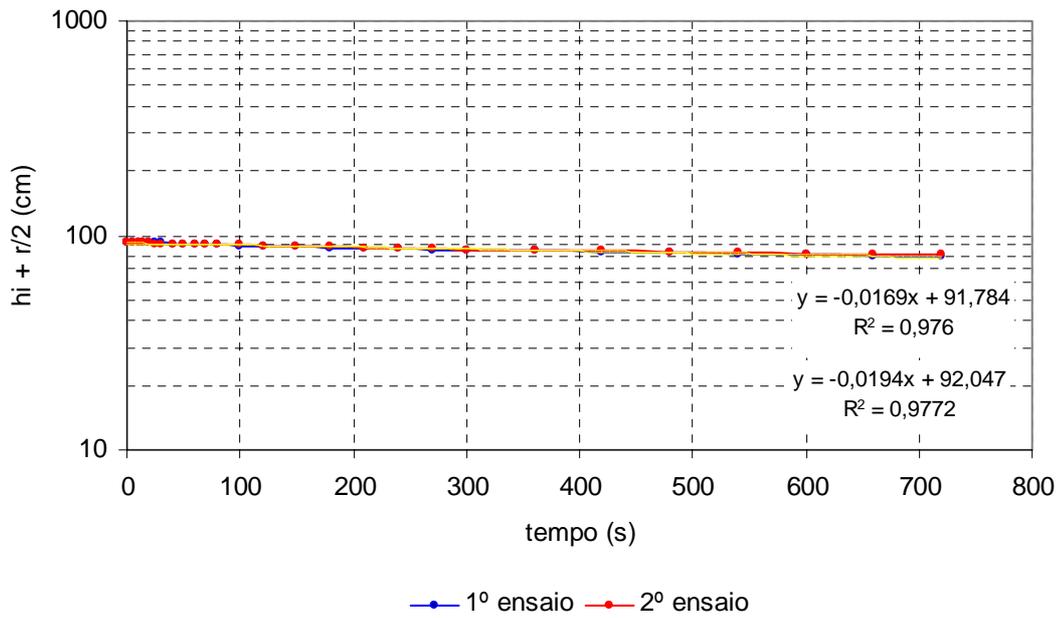
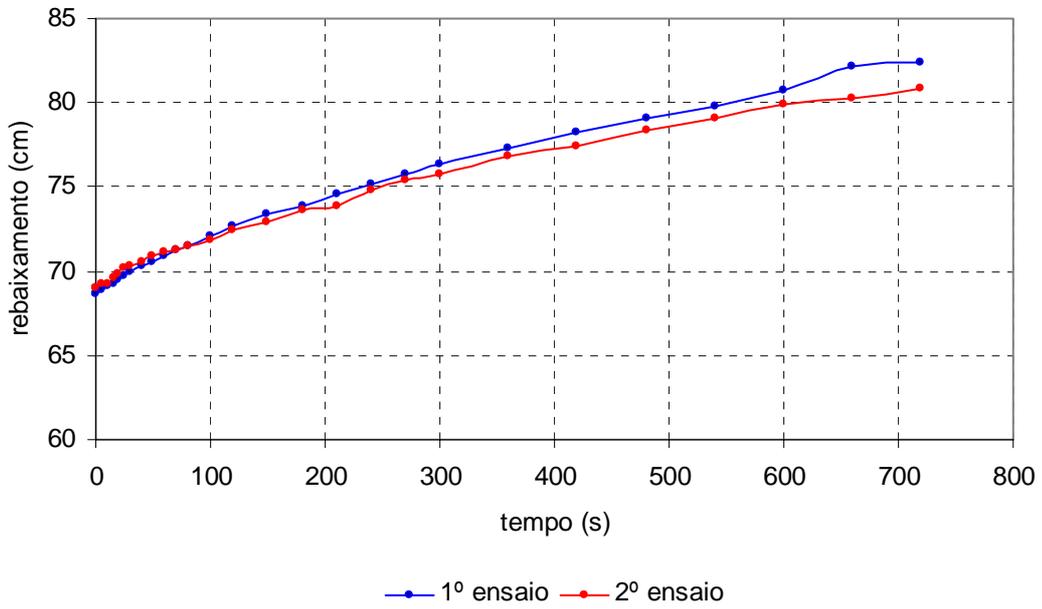
K1 =	7,87E-02 m/dia	3,28E-01 cm/h	2,19E-05
K2 =	1,11E-01 m/dia	4,63E-01 cm/h	3,09E-05

Furo N° 53



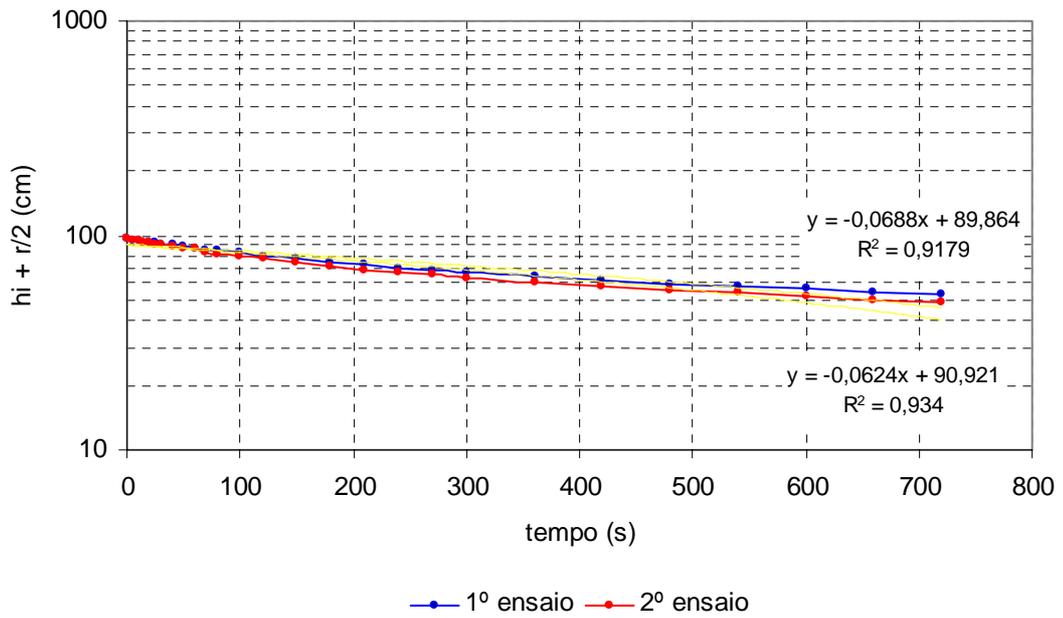
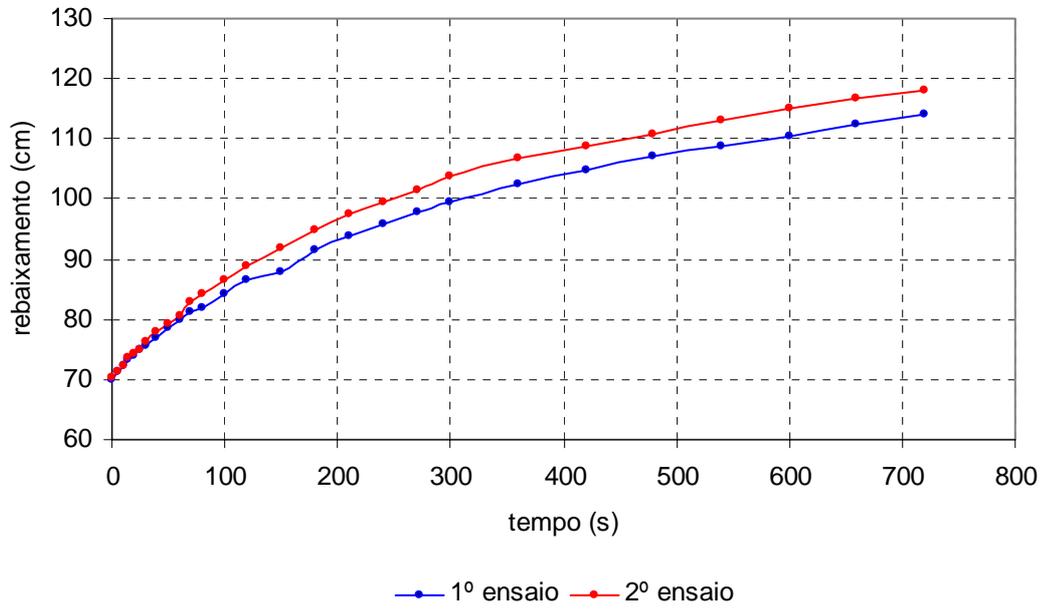
K2 = 1,33E-01 m/dia 5,53E-01 cm/h 3,69E-05

Furo N° 54



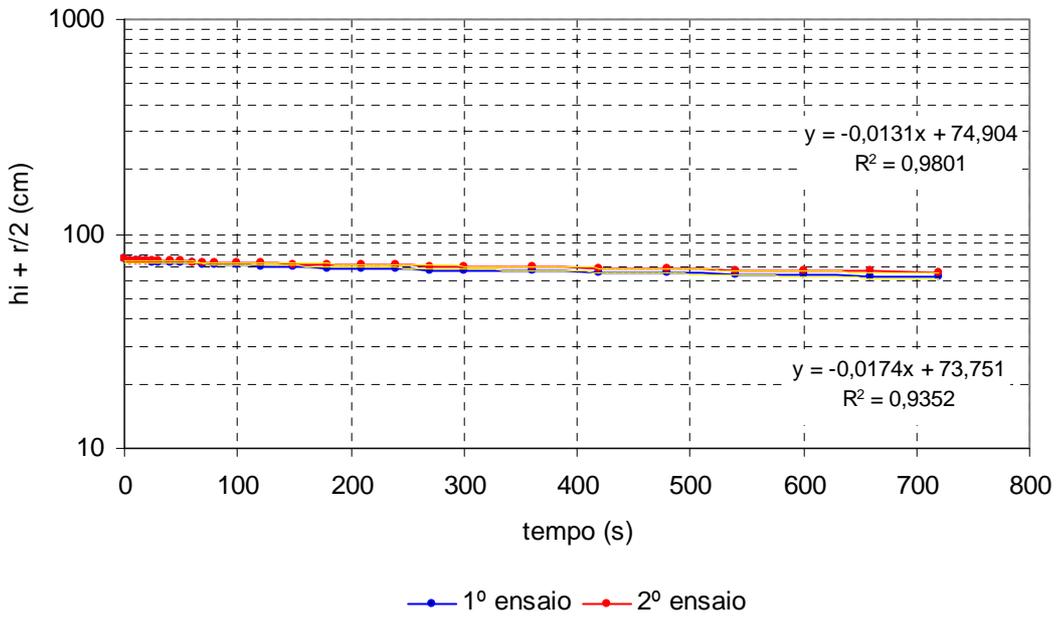
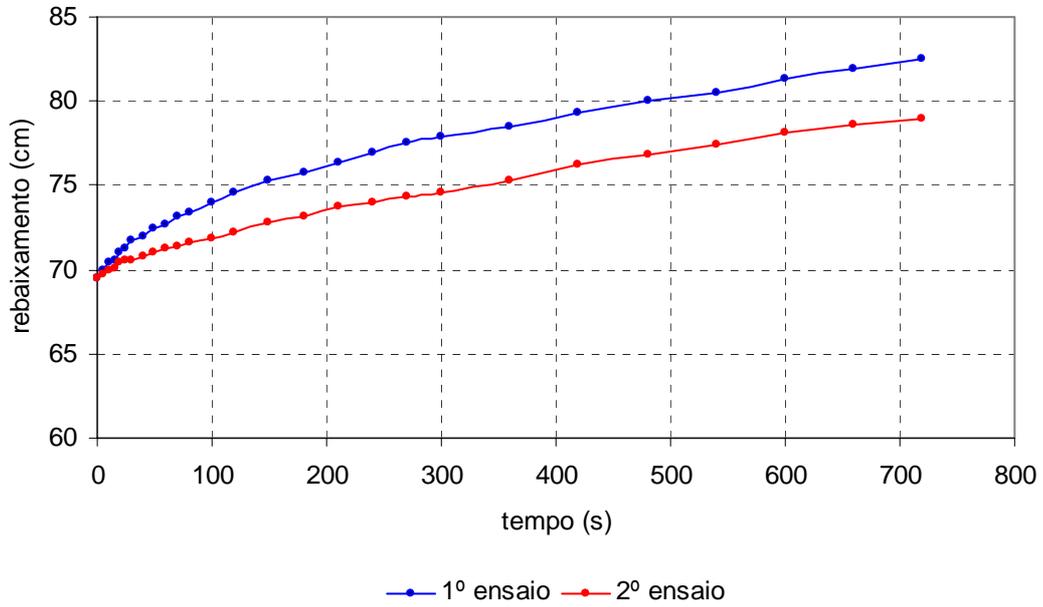
K1 =	3,90E-02 m/dia	1,63E-01 cm/h	1,08E-05
K2 =	3,40E-02 m/dia	1,42E-01 cm/h	9,45E-06

Furo N° 55



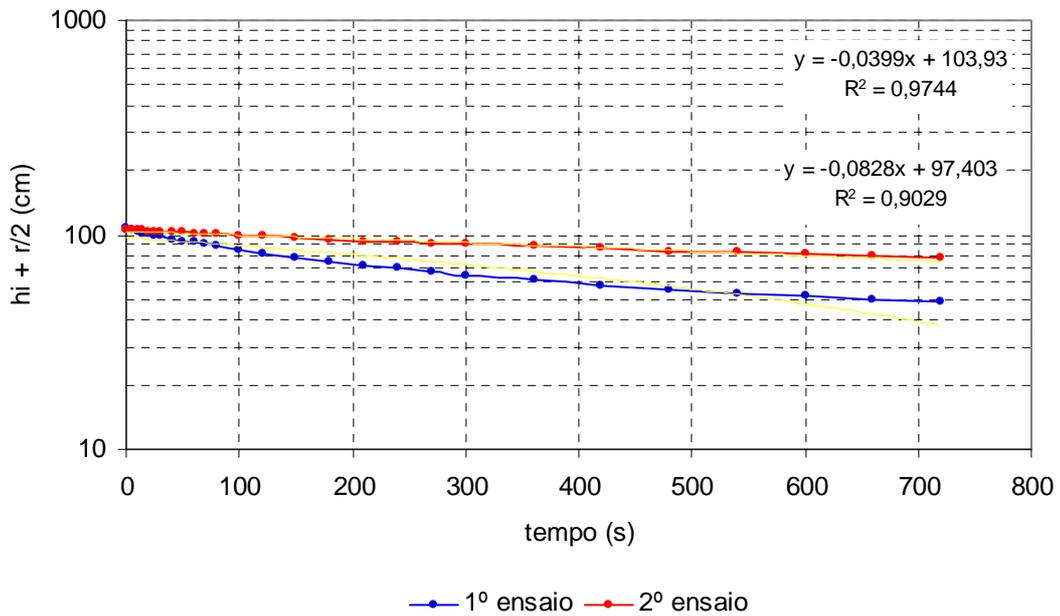
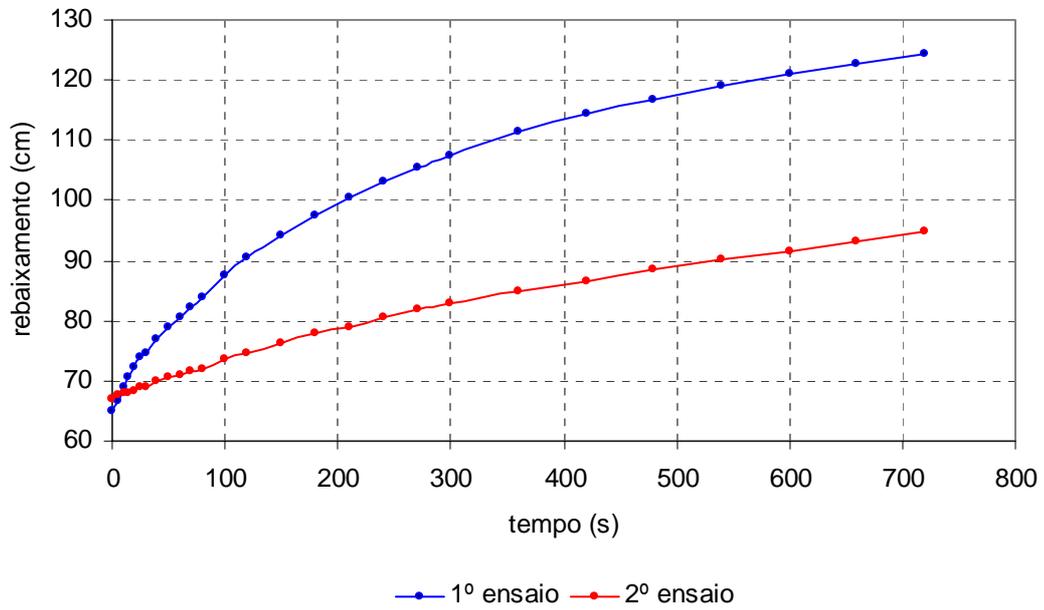
K1 =	1,26E-01 m/dia	5,23E-01 cm/h	3,49E-05
K2 =	1,38E-01 m/dia	5,77E-01 cm/h	3,85E-05

Furo N° 56



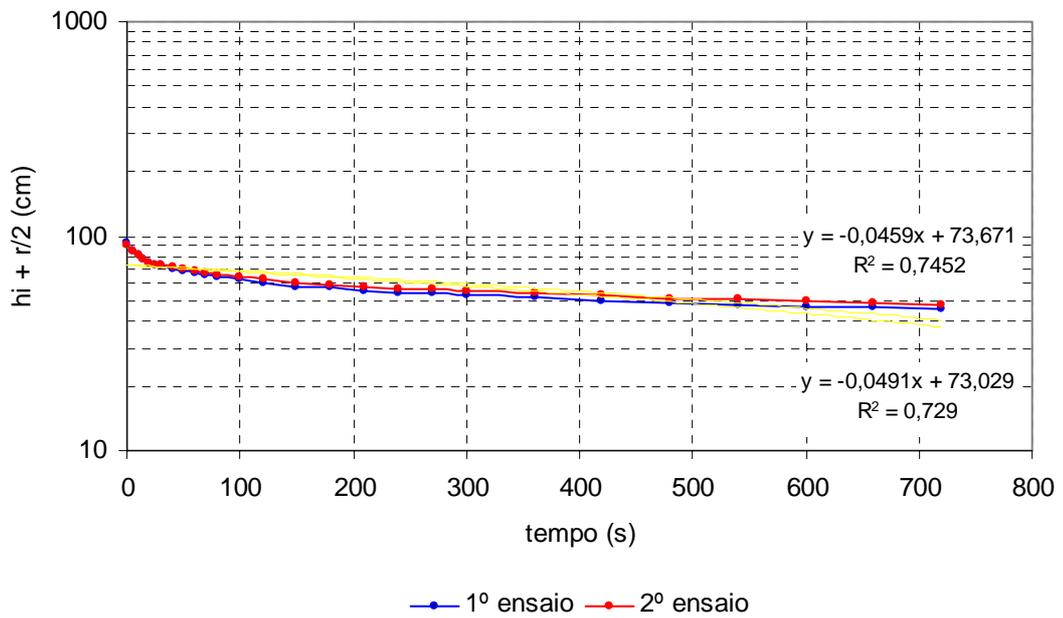
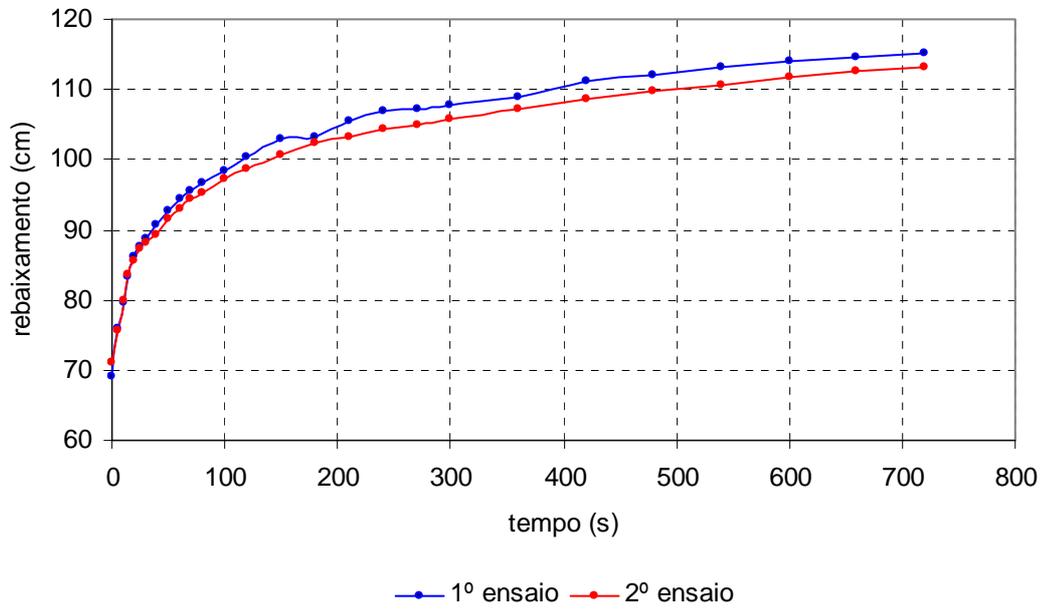
K1 =	3,50E-02	m/dia	1,46E-01	cm/h	9,73E-06
K2 =	2,64E-02	m/dia	1,10E-01	cm/h	7,32E-06

Furo N° 57



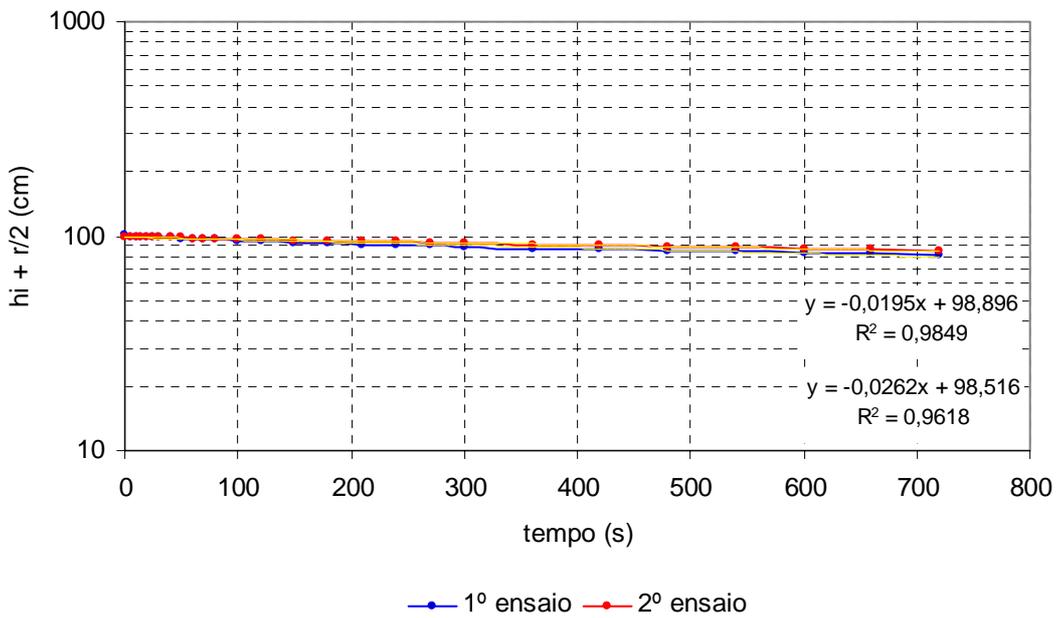
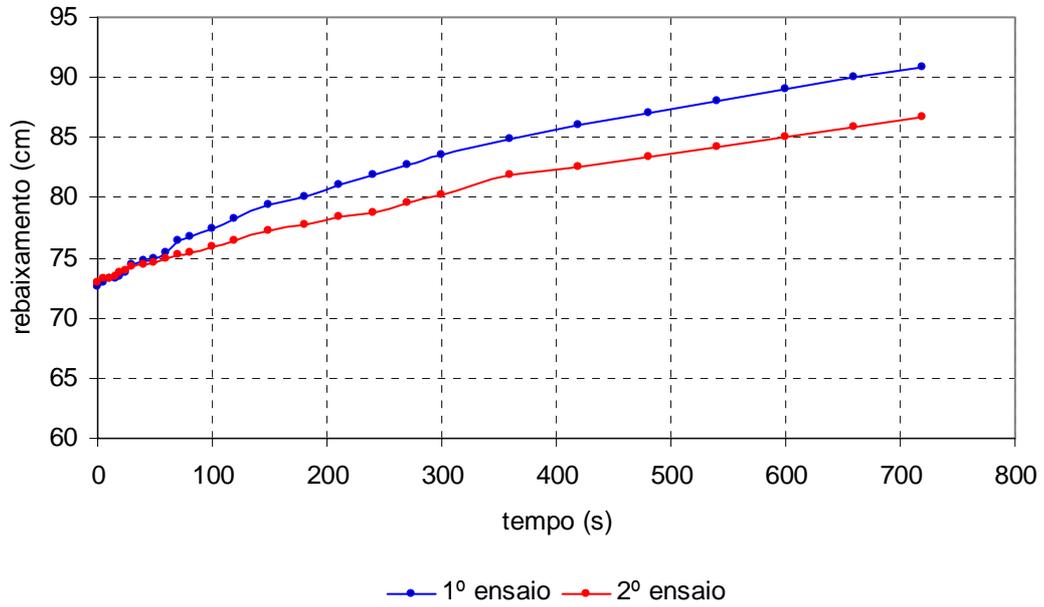
K1 =	1,67E-01	m/dia	6,94E-01	cm/h	4,63E-05
K2 =	8,03E-02	m/dia	3,35E-01	cm/h	2,23E-05

Furo N° 58



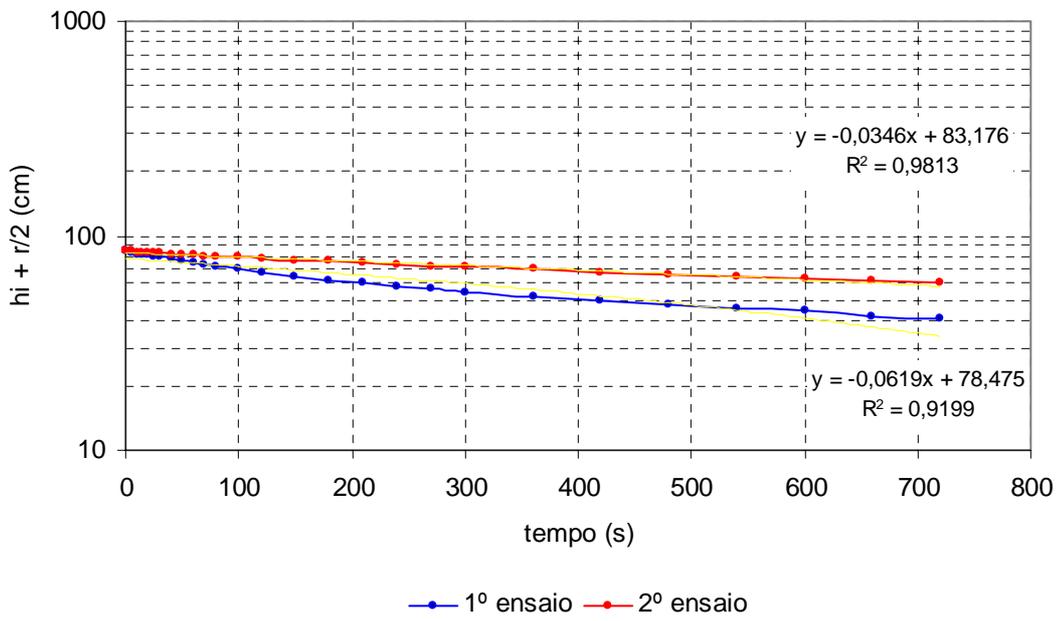
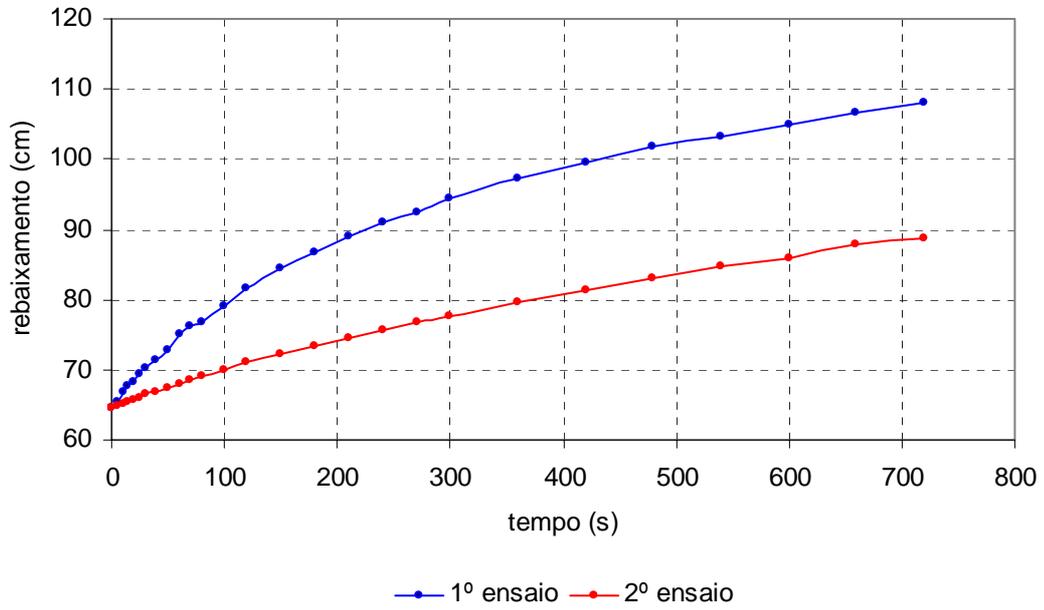
K1 =	9,88E-02	m/dia	4,12E-01	cm/h	2,74E-05
K2 =	9,24E-02	m/dia	3,85E-01	cm/h	2,57E-05

Furo N° 59



K1 =	5,27E-02 m/dia	2,20E-01 cm/h	1,46E-05
K2 =	3,92E-02 m/dia	1,64E-01 cm/h	1,09E-05

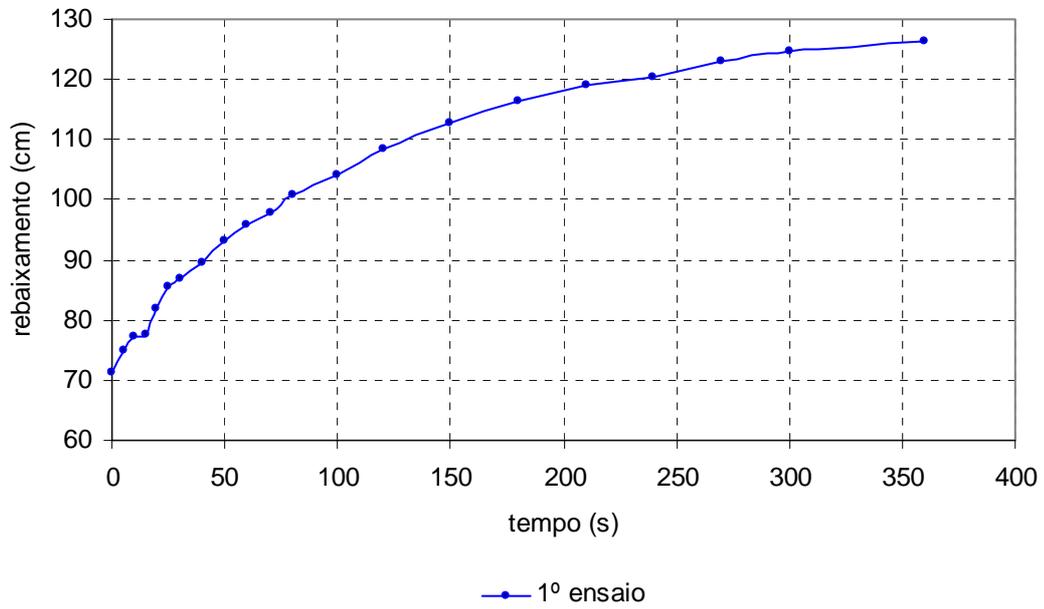
Furo N° 60



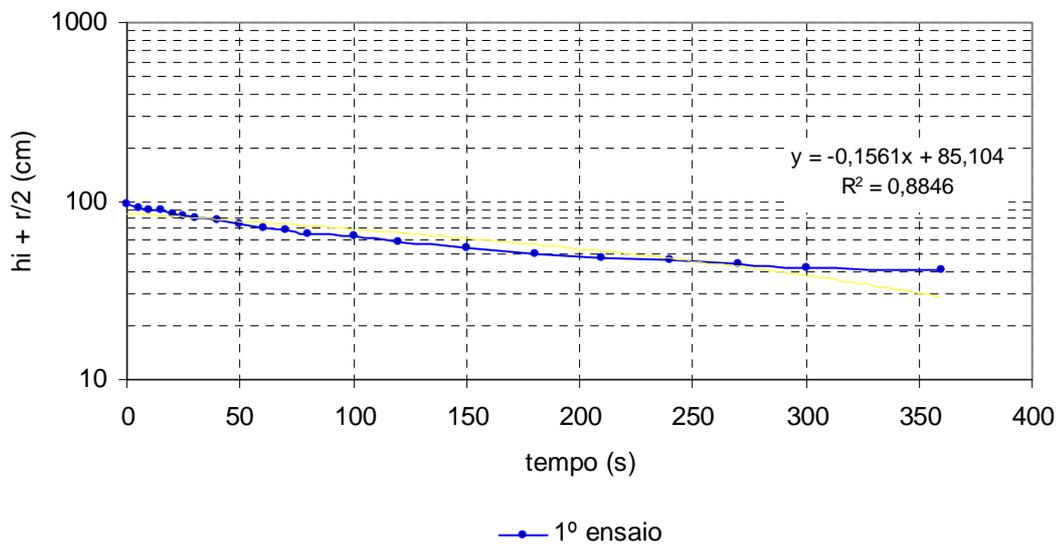
K1 = 1,25E-01 m/dia 5,19E-01 cm/h 3,46E-05

K2 = 6,96E-02 m/dia 2,90E-01 cm/h 1,93E-05

Furo N° 61

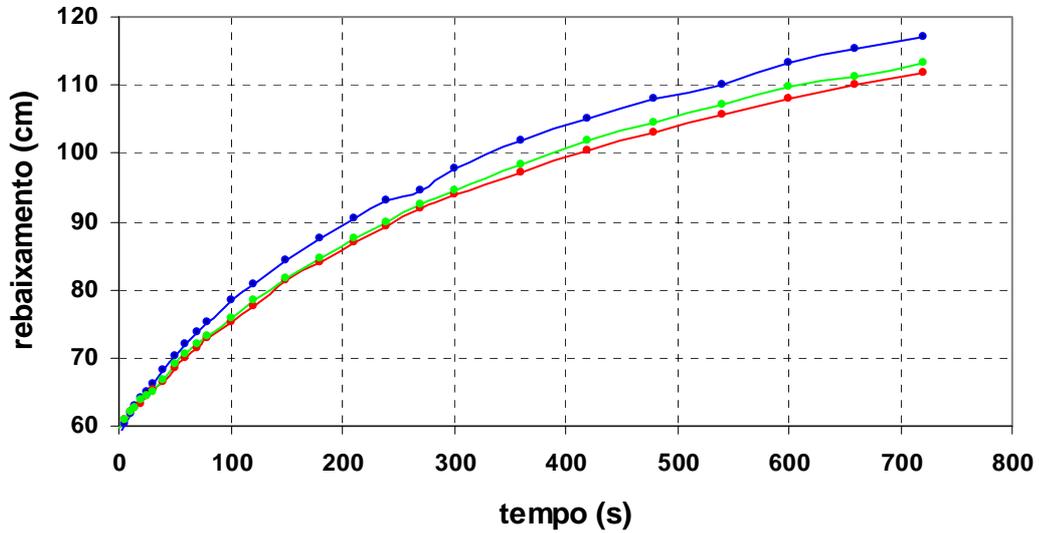


Título do gráfico

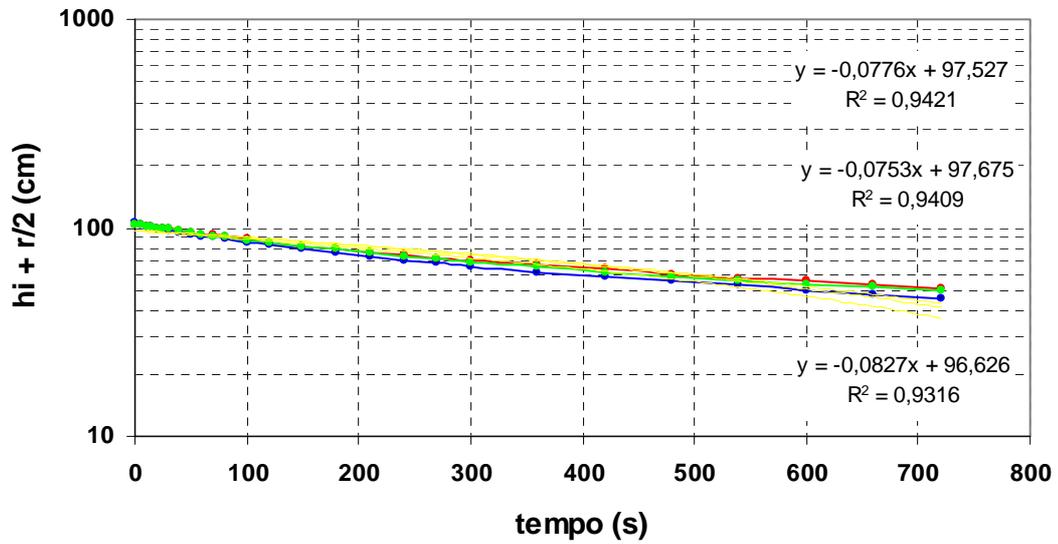


K1 = 3,14E-01 m/dia 1,31E+00 cm/h 8,73E-05

Furo N° 62



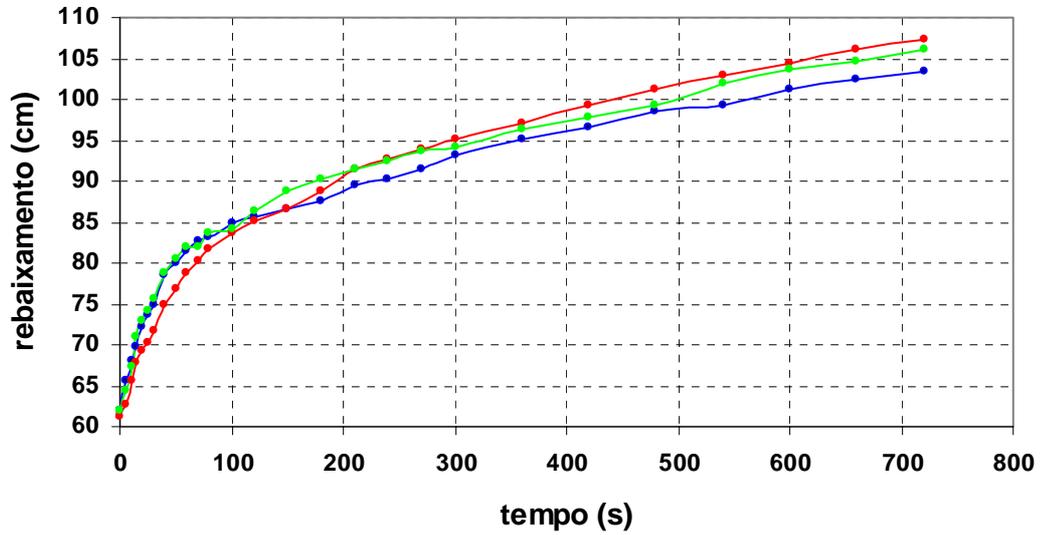
1º ensaio 2º ensaio 3º ensaio



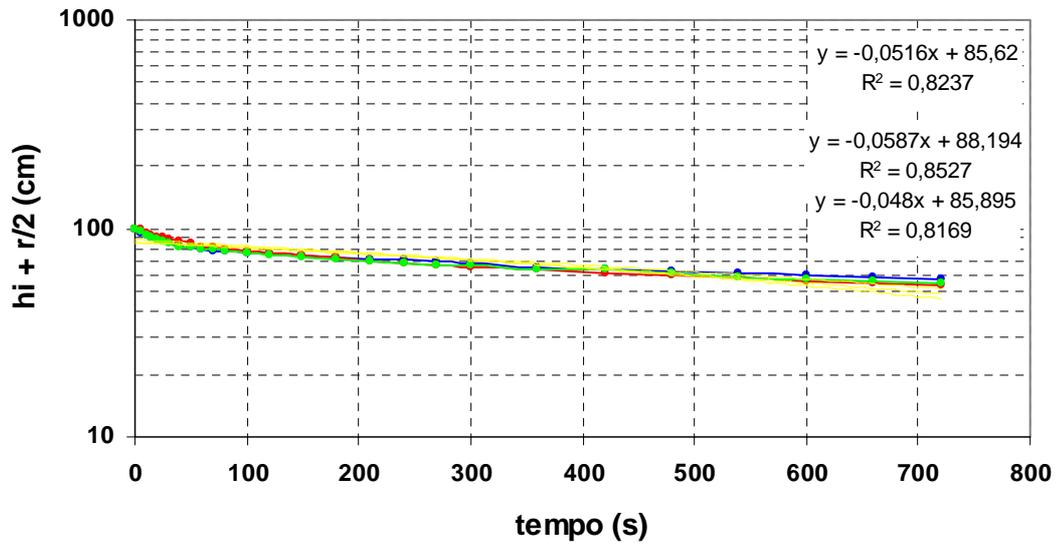
1º ensaio 2º ensaio 3º ensaio

K1 =	1,66E-01	m/dia	6,93E-01	cm/h	4,62E-05
K2 =	1,56E-01	m/dia	6,51E-01	cm/h	4,34E-05
K3 =	1,52E-01	m/dia	6,31E-01	cm/h	4,21E-05

Furo N° 63



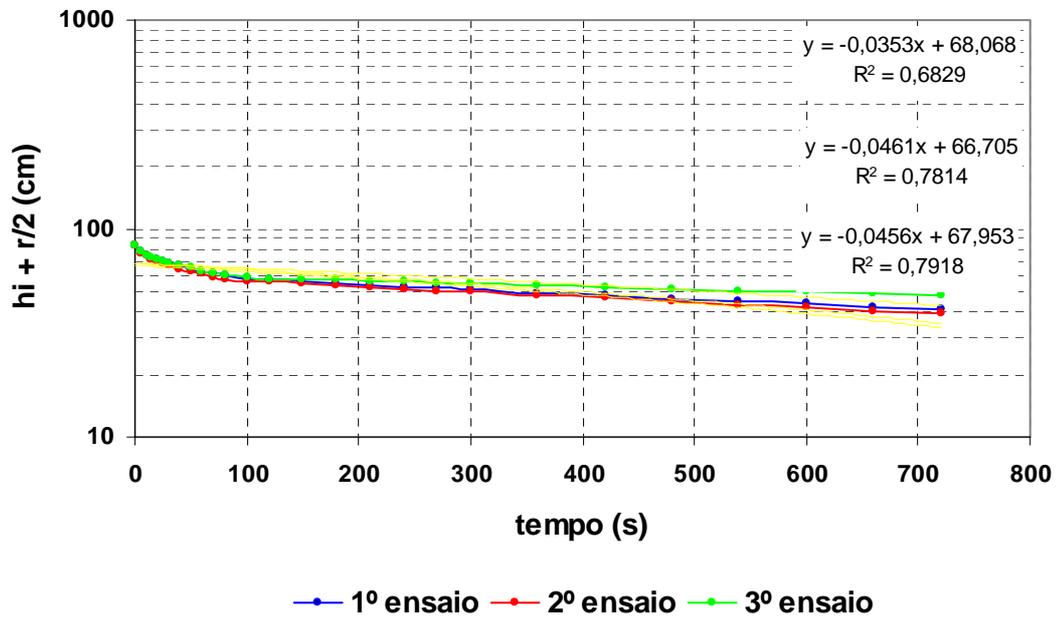
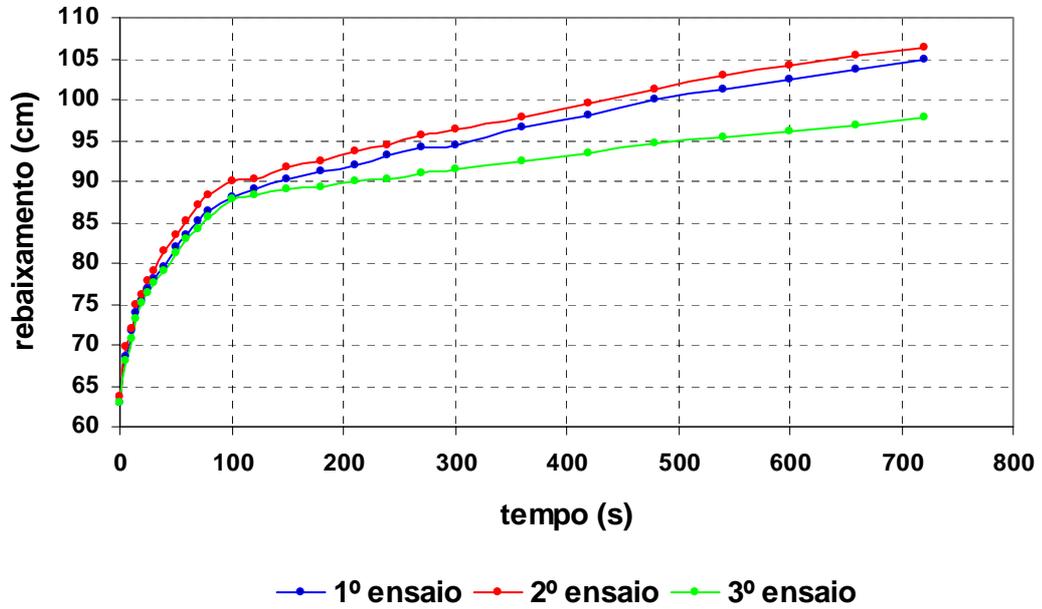
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

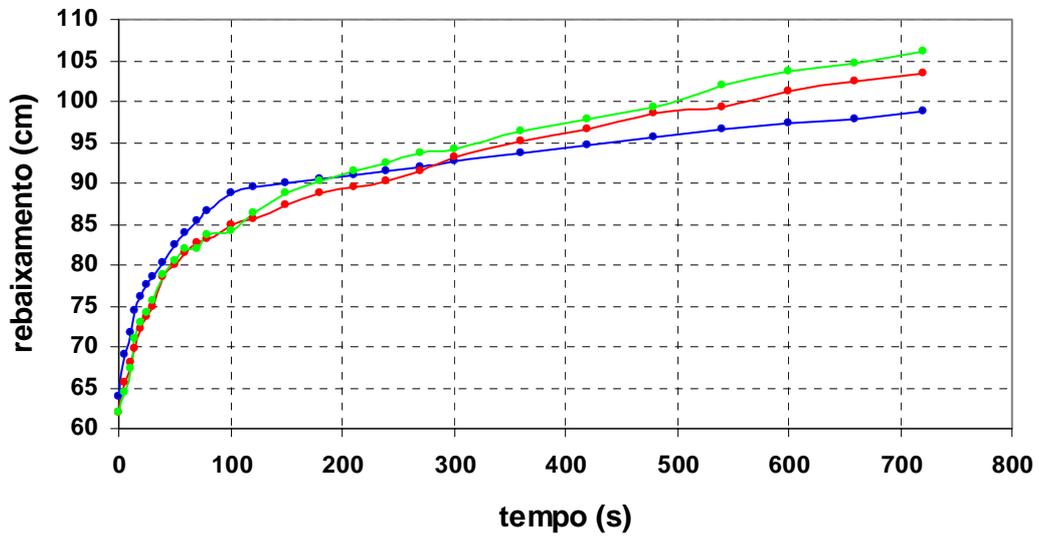
K1 =	1,18E-01	m/dia	4,92E-01	cm/h	3,28E-05
K2 =	1,04E-01	m/dia	4,34E-01	cm/h	2,89E-05
K3 =	9,66E-02	m/dia	4,03E-01	cm/h	2,68E-05

Furo N° 64

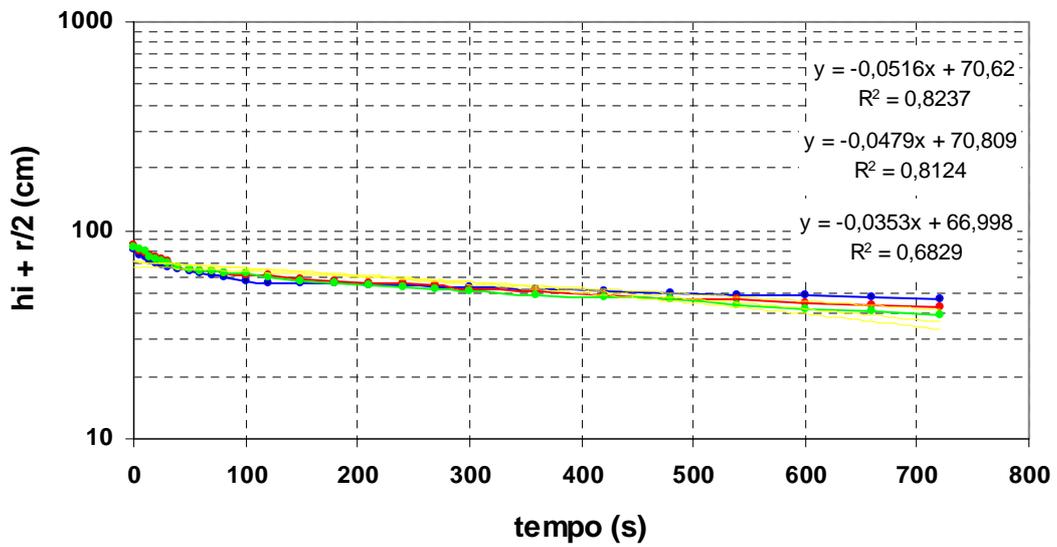


K1 =	7,10E-02 m/dia	2,96E-01 cm/h	1,97E-05
K2 =	9,18E-02 m/dia	3,82E-01 cm/h	2,55E-05
K3 =	9,30E-02 m/dia	3,87E-01 cm/h	2,58E-05

Furo N° 65



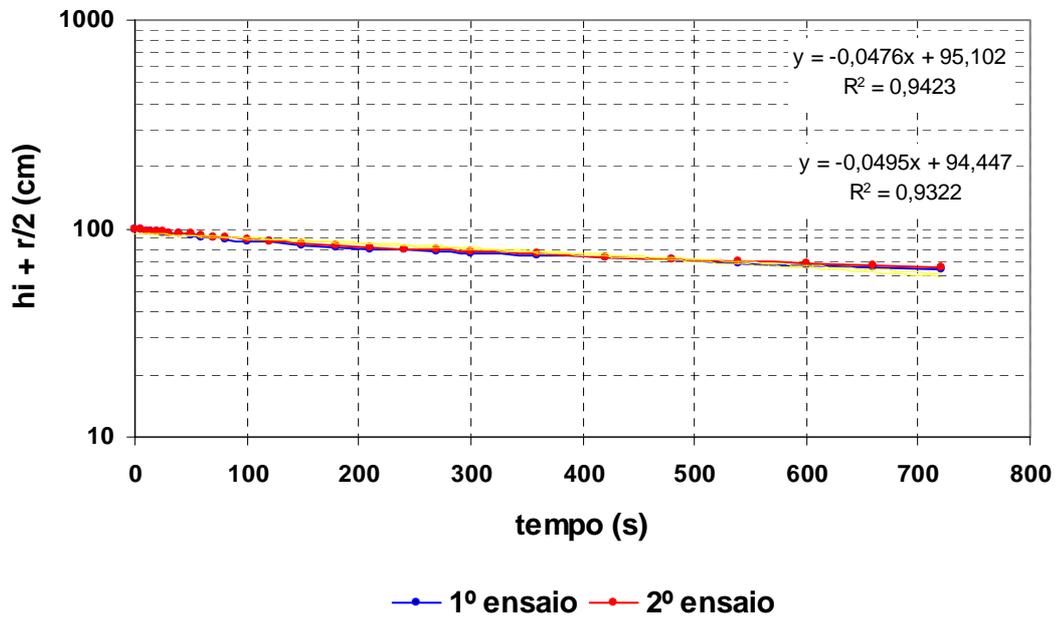
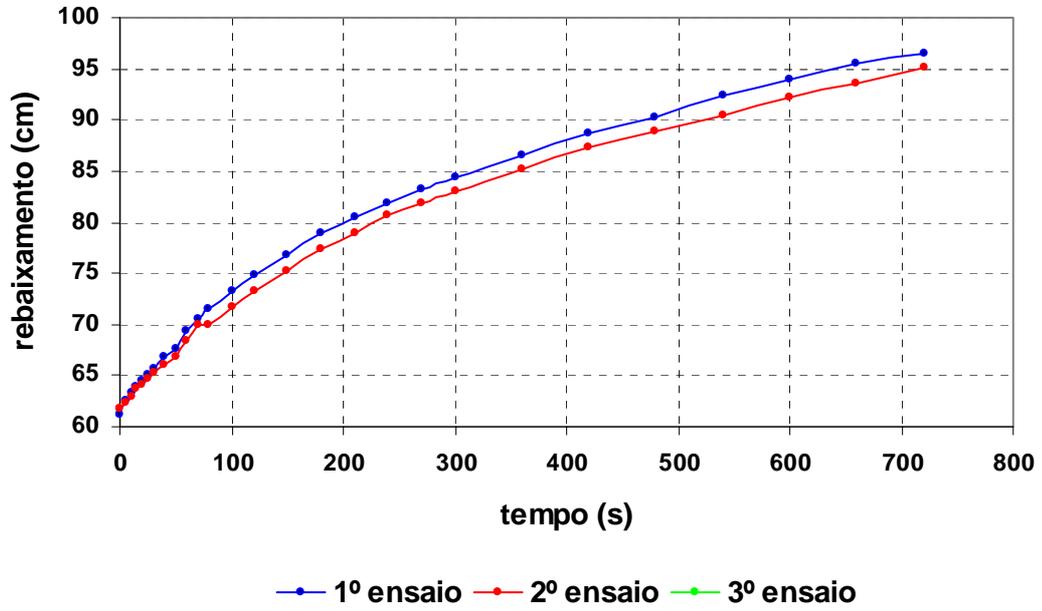
—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio



—●— 1º ensaio —●— 2º ensaio —●— 3º ensaio

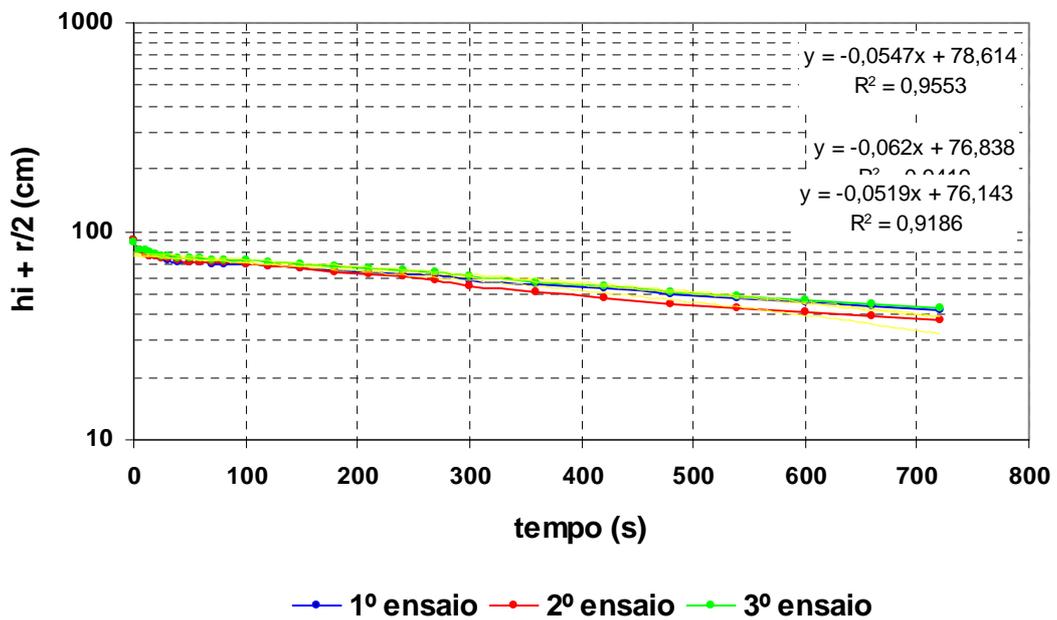
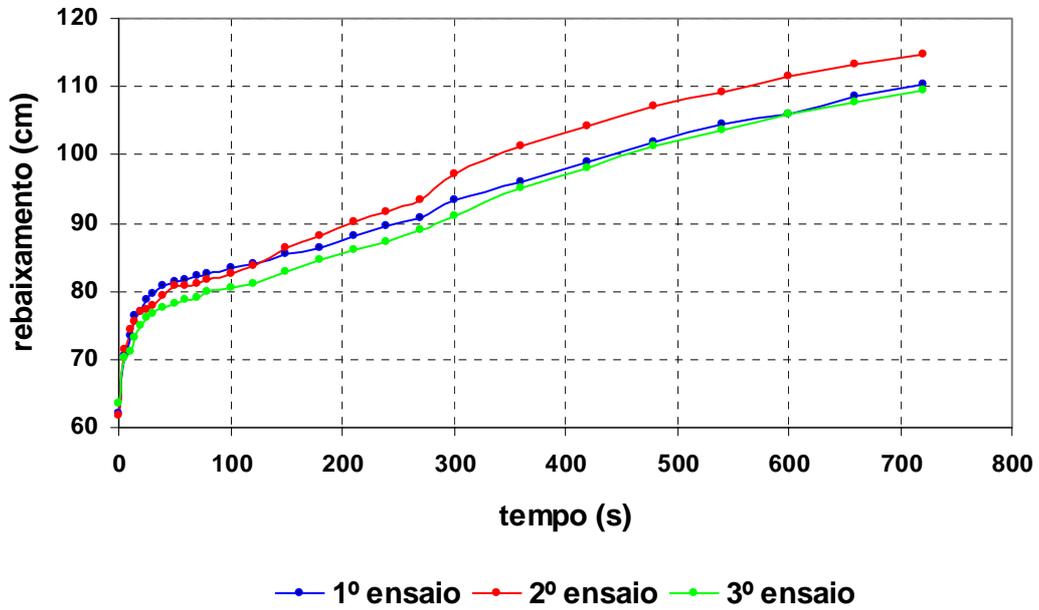
K1 =	7,10E-02	m/dia	2,96E-01	cm/h	1,97E-05
K2 =	9,24E-02	m/dia	3,85E-01	cm/h	2,57E-05
K3 =	8,63E-02	m/dia	3,59E-01	cm/h	2,40E-05

Furo N° 66



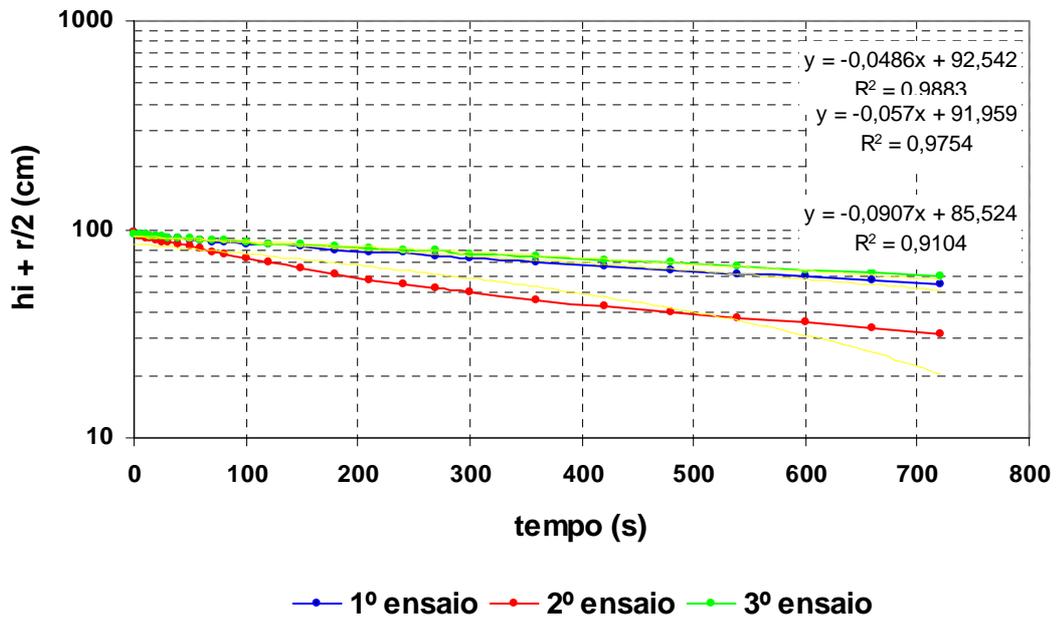
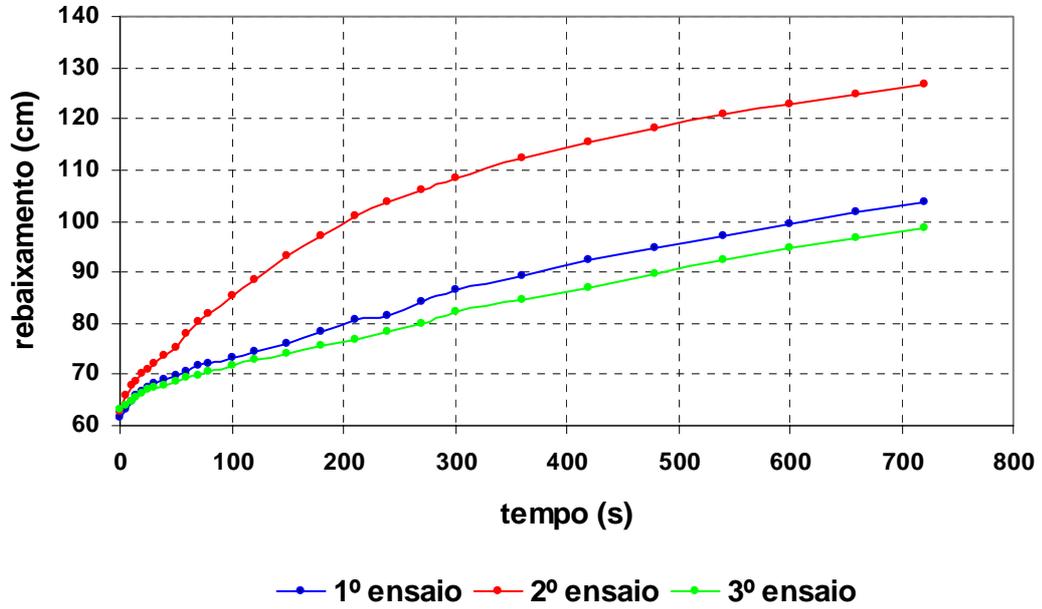
K1 = 9,69E-02 m/dia 4,04E-01 cm/h 2,69E-05
K2 = 1,00E-01 m/dia 4,18E-01 cm/h 2,79E-05

Furo N° 67



K1 =	1,25E-01	m/dia	5,21E-01	cm/h	3,47E-05
K2 =	1,10E-01	m/dia	4,59E-01	cm/h	3,06E-05
K3 =	1,04E-01	m/dia	4,34E-01	cm/h	2,90E-05

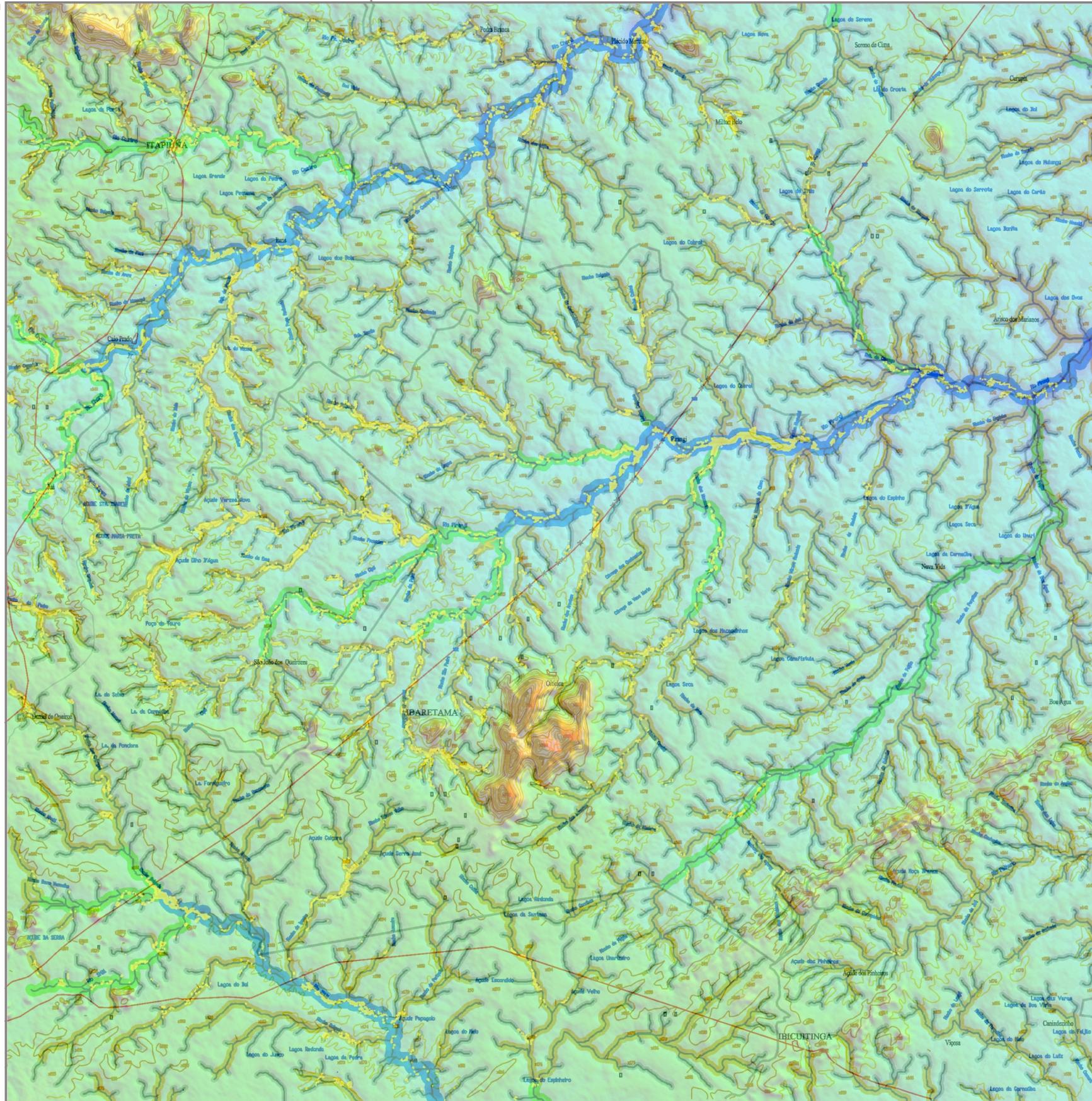
Furo N° 68



K1 =	1,86E-01	m/dia	7,75E-01	cm/h	5,16E-05
K2 =	1,18E-01	m/dia	4,92E-01	cm/h	3,28E-05
K3 =	1,02E-01	m/dia	4,26E-01	cm/h	2,84E-05

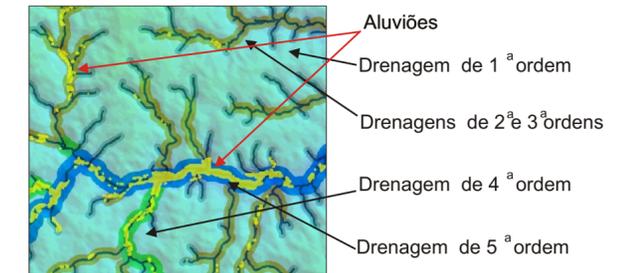
CARTA DE POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DOS AQÜÍFEROS ALUVIONARES DA FOLHA ITAPIUNA

39°00'
4°30'

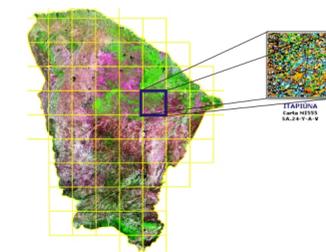


LEGENDA

- Área Urbana
- Rodovias
- Estradas
- Limite Municipal
- Pontos Cotados
- Curvas de nível



Hierarquização dos aquíferos aluvionares por segmento de rio (trechos)						
Características dos Aquíferos		Ordem das Drenagens Associadas (Segundo Strahler)				
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Aspectos Geométricos	Comprimento Médio (m)	Média: < 1 km Podendo atingir até 5 km	Média: 2 km Podendo atingir até 12 km	Média: 6 km Podendo atingir até 20 km	Média: 11 km Podendo atingir até 42 km	Média: > 20 km
	Largura Média (m)	Média: 73 m Podendo atingir até 120 m.	Média: 104 m Podendo atingir até 200 m.	Média: 105 m Podendo atingir até 200 m.	Média: 122 m Podendo atingir até 200 m.	Média: 177 m Podendo atingir até 260 m.
	Espessura Média (m)	Média: < 2,0 m	Média: 2,1 m	Média: 2,3 m	Média: 3,2 m	Média: 5,0 m
Hidráulica	Permeabilidade Média (cm/h)	5,62E+00 (7,16E-01 a 8,01E+00) Moderada	6,42E+00 (8,14E-01 a 1,45E+01) Moderadamente rápida	8,46E+00 (7,34E-01 a 1,88E+01) Moderadamente rápida	7,60E+00 (7,42E-01 a 1,34E+01) Moderadamente rápida	8,61E+00 (3,87E+00 a 1,22E+01) Moderadamente rápida
	Espessura Saturada Média(m)	Normalmente <1,0 m	1,0 m em média	1,0 m em média	Entre 1,0 e 2,0 m	Normalmente > 2,0 m
Reservas Estimadas	Reservas Permanentes	Inexpressivas (declividades altas)	Pequenas ≈ 19.000 m³/km	Pequenas ≈ 21.000 m³/km	Significativas Média: ≈ 34.000 m³/km	Muito significativas Média: ≈ 75.000 m³/km
	Disponibilidades	Inexpressivas Uso doméstico individual	Pequenas Uso Doméstico e pequenas demandas de irrigação	Pequenas Uso Doméstico e pequenas demandas de irrigação	Significativas Pequenas comunidades e pequenas demandas irrigadas	Muito significativas Comunidades de médio porte e áreas irrigadas de médio porte
Potencial Hidrogeológico		inexpressivo	baixo	médio	alto	



Base cartográfica digital: IPECE
SRTM de 90m - NASA
Coordenadas Geográficas
WGS 1984



38° 30'
5° 00'