



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA
- MESTRADO –

**ANÁLISE ESPACIAL DAS CARACTERÍSTICAS
HIDRODINÂMICAS E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA
BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA MEDIANTE
USO DE GEOTECNOLOGIAS**

por

Jorge Flávio Cazé Braga da Costa Silva

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal
da Paraíba para obtenção do título de Mestre.

João Pessoa – Paraíba

Agosto – 2009



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA
- MESTRADO -

**ANÁLISE ESPACIAL DAS CARACTERÍSTICAS
HIDRODINÂMICAS E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA
BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA MEDIANTE
USO DE GEOTECNOLOGIAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Jorge Flávio Cazé Braga da Costa Silva

Orientador: Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos

João Pessoa – Paraíba

Agosto – 2009

JORGE FLÁVIO CAZÉ BRAGA DA COSTA SILVA

**ANÁLISE ESPACIAL DAS CARACTERÍSTICAS
HIDRODINÂMICAS E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA
BACIA EXPERIMENTAL DO RIACHO GUARAÍRA MEDIANTE
USO DE GEOTECNOLOGIAS**

APROVADA EM ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos – UFPB
(Orientador)

Prof. Dr. Cristiano Das Neves Almeida - UFPB
(Examinador Interno)

Dr. Camilo Allyson Simões de Farias - FUNCEME
(Examinador Externo)

Dedico aos meus pais, Fátima e
Cazé, por todos os ensinamentos,
carinho e amor, que viabilizaram
esta conquista.

AGRADECIMENTOS

O caminho percorrido até esse momento foi árduo e cansativo, foram muitas batalhas: noites mal dormidas, angústia, desespero e muito mais. Mas durante esse percurso, fui auxiliado por diversas pessoas que me passaram muitas contribuições e ensinamentos, muitas dessas pessoas transmitiram também alegria, companheirismo e força para chegar aqui.

Por isso, divido este trabalho com todos vocês, pessoas que irei agradecer sempre que possível.

Primeiramente, agradeço a minha família, pais, irmãos, namorada, cunhada, sobrinhos, avós, tios, enfim, sem vocês **nós** não estaríamos aqui, vocês são a base de tudo.

Um agradecimento especial à minha namorada, Raquel (Galega Raquel), por vir me acompanhando e incentivando desde a graduação. Galega, muito obrigado, desculpe pelos maus momentos.

Ao Professor Celso, pela paciência, dedicação e orientação. Agradeço também a sua esposa Magna por ter que ficar esperando enquanto eu tentava absorver os ensinamentos de Celso.

Richarde Marques da Silva, você é o cara, um cara que eu já admirava e que passou a ser um grande amigo.

Agradeço também à galera que me acompanhou durante as coletas de campo: Eduardo, Lovania, Edilson, Marco, Juliana, Flávia, André, Renato, Bruno, Cajú, Yure, Victor e Uiara. Os momentos que passamos no campo foram as melhores etapas desta pesquisa, vocês formaram uma equipe completa, competente e acima de tudo divertida.

Ao Prof. Cristiano, pela confiança depositada e pela ajuda na resolução de problemas.

Agradeço a todos que fazem parte do LARHENA (Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental), pela disponibilização de equipamentos e material.

Ao LEPPAN (Laboratório de Extensão, Pesquisa e Projetos em Análise Ambiental) e seus funcionários e colaboradores: Chico, Cacilda e a galera.

Aos colegas e amigos do Mestrado, um grupo unido e com muito potencial.

Agradeço ao CNPq pela bolsa de estudos que viabilizou a execução e conclusão desta pesquisa.

Agradeço a Andrea Carla Lima Rodrigues, que entrou com o barco andando e ajudou bastante na organização das idéias.

Todos vocês foram pessoas que auxiliaram na conclusão desta etapa, são pessoas que eu admiro e que passei a admirar ainda mais. Pessoas as quais peço desculpas pelo trabalho, pelo incômodo, pela chateação, me desculpem e obrigado por tudo. Se preparem, pois como falei ao concluir a graduação, estou tomando gosto pela coisa e não vou parar por aqui, ainda irei “aperriar” muita gente.

RESUMO

Análise espacial das características hidrodinâmicas e do uso e ocupação do solo da bacia experimental do Riacho Guaraíra mediante uso de geotecnologias

Os problemas decorrentes da erosão e sedimentação em bacias hidrográficas são vistos atualmente como um dos principais problemas da sociedade moderna, e conseqüentemente das áreas urbanas das grandes regiões metropolitanas brasileiras. A questão da gestão e da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica deve ser tratada também no âmbito da Engenharia Urbana, uma vez que a mesma se preocupa com os problemas relacionados com o gerenciamento da água no setor urbano. Sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo geral realizar um estudo do uso e ocupação do solo e das características hidrodinâmicas da bacia experimental do Riacho Guaraíra, através de geotecnologias e experimentos de campo baseados na metodologia conhecida como Beerkan. Esta metodologia determina as curvas de retenção de água no solo $h(\theta)$ e da condutividade hidráulica $K(\theta)$ através de cinco parâmetros, dois de forma e três de normalização, cujos resultados serviram para a realização de simulações hidrossedimentológicas, utilizando o modelo distribuído Kineros2. O estudo mostrou que o método Beerkan é viável, porém necessita de alguns ajustes para que forneça melhores resultados. O modelo Kineros2 foi utilizado para calcular as perdas de solo na bacia com os dados dos parâmetros de infiltração obtidos com o Beerkan, e os resultados mostram que a bacia perdeu cerca de 50 ton/ha/ano, para o período de janeiro de 2004 a maio de 2009, dos quais o ano de 2004 foi o que apresentou a maior produção, i.e., 125,1 ton/ha, enquanto que o ano de 2009 apresentou a menor, i.e., 5,2 ton/ha. Finalmente, o alto grau de permeabilidade da bacia e a sua susceptibilidade à erosão revelam a importância de estudos hidrossedimentológicos usando a modelagem distribuída e de campanhas de campo para mais testes de infiltração.

PALAVRAS-CHAVE: Método Beerkan, Bacia Experimental do Riacho Guaraíra, Condutividade hidráulica, Kineros2

ABSTRACT

Spatial analysis of hydrodynamic features and land use and occupation of the Guaraira River experimental basin through geotechnology use.

The sedimentation and erosion problems at the hydrographic basin are seen currently as one of the main problems of modern society and consequently of the urban areas and large Brazilian metropolitan regions. The issue of management and water availability in the hydrographic basin must be treated as an Urban Engineering issue, once that it is in charge of the problems related to water management at the urban level. So, the general objective of this research is to study the land use and occupation and hydrodynamic features of the Guaraíra Experimental River Basin through the geotechnology and field experiments based on the Beerkan methodology, that determines the water retention curves in the soil $h(\theta)$ and the hydraulic conductivity $K(\theta)$ through five parameters, two of form and three of normalization, the results will be used to run hydrologic simulations through the Kineros2 model. The study showed that the Beerkan method is applicable, however it needs some adjustment so that it can give better results. The Kineros2 model was used to calculate the soil loss in the basin with data from infiltration parameters found with Beerkan, and results show that the basin lost about 50 ton/hect/year, to the period from January of 2003 to May of 2009. The year 2004 was the one which showed the highest production, i.e. 125,1 ton/hect, while 2009 showed the lowest, i.e. 5,2 ton/hect. Finally, the high permeability level of the basin and its susceptibility to erosion reveal the importance of hydrosedimentologic studies, using the given models and field surveys for more infiltration tests.

KEYWORDS: Beerkan Method, Guaraíra Experimental River Basin, Hydraulic Conductivity, Kineros2

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Mapa de localização da baía Experimental do Riacho Guaraíra na bacia hidrográfica do rio Gramame	12
Figura 3.2	Altimetria e Hidrografia da bacia experimental do Riacho Guaraíra	14
Figura 3.3	Tipos de solo na bacia experimental do Riacho Guaraíra	15
Figura 3.4	Distribuição dos equipamentos de monitoramento climatológico na bacia experimental do Riacho Guaraíra	16
Figura 3.5	Ocorrência de vegetação característica de regiões semi-áridas na área de estudo.	17
Figura 3.6	Uso do solo na bacia experimental do Riacho Guaraíra nos anos de 1974 e 2004	18
Figura 4.1	Distribuição dos pontos para os ensaios de infiltração	20
Figura 4.2	Exemplo de um arquivo de entrada de chuva do modelo Kíneros2	31
Figura 4.3	Exemplo de um arquivo de entrada dos parâmetros do modelo Kíneros2	33
Figura 5.1	Curvas de infiltração que apresentaram repelência à água	41
Figura 5.2	Curvas de infiltração que não apresentaram repelência à água	41
Figura 5.3	Curvas granulométricas das amostras de solo da bacia experimental do Riacho Guaraíra	42
Figura 5.4	Arquivo de entrada dos dados do peneiramento	46
Figura 5.5	Arquivo de entrada do tempo e lâmina d'água dos ensaios de infiltração	47
Figura 5.6	Dados de densidade, umidades inicial e final, utilizados pelo BEST	47
Figura 5.7	Condutividade Hidráulica para os pontos de testes da bacia do Riacho Guaraíra	50
Figura 5.8	Curvas de retenção de água no solo para os pontos de testes da bacia do Riacho Guaraíra	51
Figura 5.9	Curva granulométrica da amostra de solo dos testes na praia.	51
Figura 5.10	Curvas de infiltração dos testes na praia.	52
Figura 5.11	Hidrogramas diários observados e escoamento superficial calculado para bacia experimental do Riacho Guaraíra	58
Figura 5.11	Hidrogramas diários observados e escoamento superficial calculado para bacia experimental	
Continuação	do Riacho Guaraíra	59
Figura 5.12	Sedigrama calculados no exutório da bacia experimental.	60
Figura 5.13	Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental	61
Figura 5.13	Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental	
Continuação		62
Figura 5.13	Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental	
Continuação		63
Figura 5.14	Hidrogramas diários observados e escoamento superficial calculado para bacia experimental do Riacho Guaraíra	65
Figura 5.14	Hidrogramas diários observados e escoamento superficial calculado para bacia experimental	
Continuação	do Riacho Guaraíra	66
Figura 5.15	Sedigrama calculados no exutório da bacia experimental	67
Figura 5.16	Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental	68
Figura 5.16	Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental	
Continuação		68
Figura 5.16	Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental	
Continuação		68

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Descrição dos postos de monitoramento climatológico e pluviométrico.	16
Tabela 3.2	Evolução do uso e ocupação do solo para a bacia experimental entre os anos de 1974 e 2004	18
Tabela 5.1	Classe textural do solo para cada ponto estudado	43
Tabela 5.2	Classificação quanto ao tipo de solo para os pontos estudados	44
Tabela 5.3	Parâmetros de forma das curvas de distribuição das partículas	44
Tabela 5.4	Parâmetros de forma funcionais de $h(\theta)$ e $K(\theta)$	45
Tabela 5.5	Parâmetros de normalização	46
Tabela 5.6	Volumes e repetições utilizados nos testes	52
Tabela 5.7	Resultados do BEST para os testes	53
Tabela 5.8	Resultados do BEST para as alterações de parâmetros para os testes.	54
Tabela 5.9	Parâmetros utilizados na simulação hidrológica	57
Tabela 5.10	Produção total calculada de sedimentos no exutório da bacia experimental	57
Tabela 5.11	Parâmetros observados utilizados na simulação hidrológica	64
Tabela 5.12	Produção total calculada de sedimentos no exutório da bacia experimental	64

LISTA DE MAPAS

Mapa 5.1	Densidade do solo na bacia do Riacho Guaraíra	37
Mapa 5.2	Porosidade do solo na bacia do Riacho Guaraíra	38
Mapa 5.3	Umidade inicial da bacia do Riacho Guaraíra	39
Mapa 5.4	Umidade final da bacia do Riacho Guaraíra	40
Mapa 5.5	Condutividade hidráulica na bacia do Riacho Guaraíra	49
Mapa 5.6	Discretização da bacia em planos e canais	56

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Bacias experimentais.....	6
2.2 Modelagem hidrológica	7
2.3 Sistemas de informações geográficas e modelagem hidrológica	8
2.4 Estimativa das propriedades hidrodinâmicas do solo.....	10
3 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	12
3.1 Altimetria e Hidrografia.....	14
3.2 Solos	15
3.3 Clima.....	16
3.4 Uso do solo.....	17
4 – MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 Levantamentos cartográfico e bibliográfico	19
4.2 O método Beerkan	21
4.2.1 Ensaios de campo.....	22
4.2.2 Análise dos dados de campo e determinação dos parâmetros de forma das curvas de retenção e de condutividade hidráulica.....	23
4.2.2.1 Determinação dos parâmetros de forma m , n e η	24
4.3 O modelo Kineros2.....	26
4.3.1 O modelo de infiltração do solo.....	27
4.3.2 escoamento superficial no plano	28
4.3.3 escoamento superficial no canal.....	28
4.3.4 Erosão nos planos e canais.....	29
4.3.5 Parâmetros de entrada de dados no modelo Kineros2	31
4.3.6 Parâmetros do modelo Kineros2	32
4.3.6.1 Parâmetros globais do Kineros2	32
4.3.6.2 Parâmetros dos planos do modelo Kineros2	33
4.3.6.3 Parâmetros dos canais do modelo Kineros2.....	34
4.3.6.4 Estimativa dos parâmetros do modelo Kineros2	35
5 – RESULTADOS.....	36
5.1 Análise dos dados obtidos nos ensaios de campo	36
5.1.1 Determinação das curvas granulométricas e classificação quanto ao tipo de solo.....	42
5.1.2 Resultado dos parâmetros de forma	44

5.1.3 Resultado dos parâmetros de normalização.....	46
5.1.4 Determinação das curvas de condutividade hidráulica e de retenção de água no solo....	46
5.2 Aplicação do modelo Kineros2: resultados das simulações hidrológicas	54
5.2.1 Simulação hidrológica a partir de dados de literatura.....	55
5.2.2 Simulação hidrológica a partir de dados observados em campo	63
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
6.1 Conclusões.....	70
6.1.1 Trabalho de campo.....	70
6.1.2 Método Beerkan	70
6.1.3 Modelo hidrossedimentológico Kineros2	71
6.2 Recomendações	71
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE 1 – Valores de densidade ρ_s , porosidade ϕ , umidade inicial θ_0 , e umidade final θ_σ do solo da bacia do Riacho Guaraíra	77
APÊNDICE 2 – Resultados do método Beerkan para a bacia do Riacho Guaraíra.....	82
APÊNDICE 3 – Características geométricas e seqüência de cálculo da bacia do Riacho Guaraíra	84
APÊNDICE 4 – Lista dos valores dos parâmetros calibrados pelo modelo Kineros2 dos elementos discretizados da bacia do Riacho Guaraíra	85

1 - INTRODUÇÃO

O crescente aumento no número de habitantes no nosso planeta tem gerado um avanço das áreas urbanas nas áreas rurais. Esse processo cria problemas quanto ao uso e ocupação do solo e o assoreamento dos mananciais hídricos.

É cada vez mais comum, no ambiente urbano, a ocupação indiscriminada das vertentes e leitos dos rios por construções habitacionais que contribuem para o agravamento dos processos erosivos. O aumento da quantidade de sedimentos decorrentes da erosão pode, em alguns casos, reduzir a profundidade dos rios, facilitando a inundação de áreas urbanas ou, em casos mais extremos, causando o assoreamento do rio.

Nas áreas rurais, o problema não é muito diferente, as margens são ocupadas pelas lavouras, gerando erosões laminares, em sulcos e em ravinas que irão depositar os sedimentos no leito dos rios.

Para melhor aproveitamento do uso e ocupação do solo, seja ele urbano ou rural, é necessário um estudo dos processos erosivos que ocorrem na área a ser ocupada. Problemas com erosão causam grandes perdas tanto para os proprietários da área afetada, como para a natureza.

O interesse pelo estudo e conhecimento dos impactos ao meio ambiente causados pelas atividades humanas tem levado um considerável número de pesquisadores a estudar novas ferramentas que buscam simular as transformações ocorridas através das mudanças no uso indiscriminado do solo e da água (Santos et al., 2005).

Para auxiliar a avaliação da degradação do meio ambiente em bacias hidrográficas, vêm sendo desenvolvidos modelos hidrológicos matemáticos que buscam simular e quantificar os processos de chuva, vazão e erosão. Desde o surgimento do modelo Stanford Watershed em 1966, muitos outros surgiram, utilizando as bacias hidrográficas como unidade espacial para descrever os processos hidrológicos e erosivos em escalas temporal e espacial (Semmens et al., 2000).

Estes modelos têm sido utilizados cada vez mais na investigação das mudanças climáticas e nos impactos do uso e ocupação do solo sobre a produção de sedimentos e o escoamento superficial em bacias urbanas.

O desenvolvimento de modelos hidrológicos distribuídos tem conduzido a significativas melhorias nas simulações hidrológicas, uma vez que a análise pode ser realizada do ponto de vista espacial. Inúmeros estudos têm descrito o uso de técnicas de geoprocessamento em modelagem hidrológica e tem enfatizado a importância

destas aplicações para o desenvolvimento de novas técnicas no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (Maidment, 1993).

De acordo com Silva (2005), a utilização de uma ferramenta SIG (Sistema de Informações Geográficas) constitui, hoje, num instrumento de grande valia para o estabelecimento de planos integrados de uso e ocupação do solo e da água, seja no meio rural ou urbano. A principal vantagem na utilização do geoprocessamento reside na possibilidade de estudar diferentes cenários com um baixo custo e de forma rápida. O acoplamento de modelos hidrológicos com o SIG não é uma integração recente e nos últimos anos tem aumentado consideravelmente.

Os problemas de erosão e sedimentação em bacias hidrográficas são vistos atualmente como um dos principais problemas da sociedade moderna, e conseqüentemente das áreas urbanas das grandes regiões metropolitanas brasileiras. A questão da gestão e da disponibilidade hídrica de uma bacia periurbana deve ser tratada também no âmbito da Engenharia Urbana, uma vez que a mesma se preocupa com os problemas relacionados com o gerenciamento da água no setor urbano.

A utilização de uma bacia hidrográfica experimental se dá devido ao seu tamanho reduzido e homogeneidade, no que se refere a solo e vegetação, possibilitando assim estudos detalhados das suas características hídricas e físicas.

Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo geral realizar um estudo da ocupação do solo e das características hidrodinâmicas da bacia experimental do Riacho Guaraíra, através de geotecnologias e experimentos de campo, para o uso em modelagem hidrológica distribuída, com os seguintes objetivos específicos:

- a) levantar dados da ocupação do solo da bacia a partir de levantamento de campo e utilização de sistemas de informações geográficas;
- b) analisar espacialmente as características hidrodinâmicas da bacia (condutividade hidráulica, saturação e porosidade) obtidos através de amostras de solo; e
- c) simular a produção de sedimentos a partir de um modelo hidrossedimentológico distribuído de base física, utilizando dados de ocupação do solo e das características hidrodinâmicas e verificar a influência de tais características nos resultados finais.

A bacia experimental do Riacho Guaraíra possui uma área de 5,74 km² e é monitorada pelo Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA) da Universidade Federal da Paraíba, instalada no âmbito do projeto IBESA/Finep (Implantação de Bacias Experimentais no Semi-árido).

A pesquisa se baseará na determinação das propriedades hidrodinâmicas na bacia experimental do Riacho Guaraíra, através de técnicas de modelagem e de um sistema de informações geográficas, enfatizando a importância dos levantamentos de campo.

Normalmente, para determinar as propriedades hidrodinâmicas do solo no campo, é necessário coletar um grande número de informações, o que implica em ensaios de campo e de laboratório bastante dispendiosos e que requerem um longo tempo de execução. Devido aos elevados custos, alguns pesquisadores vêm utilizando métodos indiretos que se baseiam em dados usuais do solo usuais, disponíveis na literatura que trata do assunto.

Buscando amenizar os custos dos levantamentos de campo, Haverkamp et al. (1996), a partir da teoria do escalonamento, mostraram que a completa identificação dos fatores de escala da equação do fluxo não saturado pode ser efetuada independente da equação de infiltração considerada e das condições de fronteiras impostas, dando origem assim a uma metodologia denominada “Beerkan” (Haverkamp et al., 1998; Soria, 2003; Lassabatère et al., 2004) que se baseia principalmente em ensaios simplificados de infiltração e na análise da distribuição dos tamanhos das partículas do solo.

No método “Beerkan”, as curvas de retenção da água no solo $h(\theta)$ e da condutividade hidráulica $K(\theta)$ podem ser descritas por cinco parâmetros, dois de forma e três de normalização.

A aplicação do método Beerkan é simples e rápida se comparada a outros métodos experimentais, demonstrando ainda eficiência e baixo custo de aplicação.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento urbano ou rural de uma região sempre causa algum impacto ao meio ambiente. Os usos inadequados da água e do solo podem trazer conseqüências tais como: erosão, poluição, contaminação dos lençóis freáticos, entre outros problemas.

A degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, vem crescendo de forma alarmante, atingindo níveis críticos que se refletem na deterioração do meio ambiente e no assoreamento dos cursos e reservatórios de água (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A dinâmica dos processos hidrológicos pode acarretar erosões que causam o assoreamento de reservatórios, comprometendo, assim, os usos múltiplos de seus recursos hídricos. Desta forma, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo possibilitam a determinação de medidas de ordenamento do uso do solo.

Os processos hidrológicos, de acordo com Machado & Vettorazzi (2003), afetam a erosão do solo, o transporte e a deposição de sedimentos erodidos e as características físicas, químicas e biológicas que, coletivamente, determinam, em parte, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Para Ogura et al. (1997), os sedimentos produzidos pelas erosões aceleradas provocam rápido assoreamento de cursos d'água e reservatórios. O assoreamento favorece enchentes e causa a perda de capacidade de armazenamento de água em reservatórios. Sendo assim, é de extrema relevância a elaboração de estudos voltados ao mapeamento e a identificação da erosão em áreas urbanas e a conseqüente formulação de planos integrados de controle de erosão e de assoreamento.

A perda do solo causa a degradação ambiental e pode provocar a redução da qualidade da água pela presença de sedimentos e suas associações com agrotóxicos e nutrientes, assoreamento de córregos e lagos e enchentes e inundações causadas por alterações no regime fluvial, as quais afetam a fauna, flora e as atividades humanas (Silva et al., 2003; Guerra, 2005).

Guerra (1998) aponta a erosividade da chuva, as propriedades físicas do solo, a cobertura vegetal e as características das encostas como os principais fatores atuantes que influenciam a erosão dos solos.

De acordo com Silva et al. (2003), a erosão tem sido intensivamente estudada, sob vários pontos de vista em várias partes do mundo.

O assunto vem sendo pesquisado no sentido de produzir conhecimento técnico-científico dentro de várias áreas do conhecimento, mostrando a interatividade das relações entre o clima, a temperatura, o relevo, o uso inadequado do solo e suas influências no processo de erosão, cujas conseqüências trazem sérios danos para o desenvolvimento regional.

A região Nordeste do Brasil, onde se encontra a área de estudo, enfrenta grandes problemas com relação à degradação do solo provocada pela erosão. E assim como em todo o país, a ocupação do seu território se deu de forma excessiva, exaurindo parte dos recursos naturais. Aliada a essa forma de ocupação, a região conta com uma estrutura social concentradora de renda e de poder, responsável por uma estagnação sócio-econômica.

Além disso, o desenvolvimento de estudos sobre os recursos hídricos e naturais da região Nordeste do Brasil esbarra em um grave problema, a pouca quantidade de dados hidrológicos. Em determinadas áreas, este problema pode ser atenuado pela regionalização das informações disponíveis, sendo esta, uma ferramenta muito utilizada para suprir a carência de informações.

O gerenciamento dos recursos hídricos e o seu manejo racional têm levado pesquisadores a tentar prever as relações meteorológicas e hidrológicas a partir da utilização de modelos de simulação e previsão. Todini (1988) aponta o desenvolvimento contínuo da modelagem matemática como uma chave para solucionar os requisitos necessários em estudos de modelagem hidrológica, uma vez que a previsão de vazão é um dos principais desafios relacionados com o conhecimento integrado das características físicas e hidrológicas da bacia e da climatologia regional.

Nesse contexto, destacam-se estudos realizados sobre as relações entre solo, água, vegetação e atmosfera em bacias hidrográficas experimentais como meio de caracterizar com maior precisão as relações desses processos no meio natural.

2.1 Bacias experimentais

Segundo Goldenfum (2003), a homogeneidade das pequenas bacias faz com que elas sejam muitas vezes utilizadas em pesquisas visando à obtenção de um melhor entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos que intervêm no ciclo hidrológico.

A utilização de bacias hidrográficas experimentais como área de estudos hidrológicos se dá pela homogeneidade no que se refere a solo e vegetação. Nestas bacias podem ser efetuados estudos detalhados das suas características hídricas e físicas (Toebe & Ouryvaev, 1970).

As bacias experimentais são instrumentos eficientes para a estimativa do comportamento hidroclimatológico característico de bacias de qualquer região climática. Essas bacias experimentais podem subsidiar os processos de regionalização de informações, preenchendo a lacuna da falta de monitoramento das variáveis hidrológicas, que são de suma importância para a gestão dos recursos hídricos.

As bacias experimentais, num contexto de regionalização das informações, surgem como o meio de maior precisão para se caracterizar as relações entre solo, água, vegetação e atmosfera, possibilitando a transposição do conhecimento destas características para regiões hidrologicamente semelhantes e sem monitoramento dessas relações. Desta forma, as bacias experimentais configuram-se como laboratórios de campo, bem equipados, para estudos detalhados dos processos físicos dentro do ciclo hidrológico.

As bacias experimentais são escolhidas como sendo representantes de uma área hidrologicamente homogênea, ou seja, são representativas de uma área onde se saiba que exista certa homogeneidade do ponto de vista fisiográfico e hidroclimatológico, que tenha mesmo regime pluviométrico e fluviométrico, tempo e clima com características semelhantes e, quando possível, características geomorfológicas semelhantes (Silva et al., 2006).

A partir das medições nas bacias experimentais os resultados podem ser extrapolados para uma área maior através do efeito de escala, e com isso temos, por exemplo, uma estimativa do processo físico estudado em toda a bacia.

2.2 Modelagem hidrológica

As medições realizadas nas bacias experimentais podem ser utilizadas nos modelos hidrológicos, que são ferramentas extremamente úteis, pois permitem, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (Tucci, 1998).

Por sua vez, pesquisas de previsão hidrossedimentológica são importantes para avaliar a evolução da degradação do meio ambiente da bacia hidrográfica através da simulação de diferentes cenários de uso e ocupação do solo, visto que, o equilíbrio ambiental da bacia está diretamente relacionado com o seu grau de conservação e o tipo de ocupação.

Na atualidade, os modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados de maneira dinâmica e eficaz, para suprir as necessidades de se entender mais profundamente como se comportam estes componentes diante dos fenômenos hidrológicos numa determinada bacia.

Desde o desenvolvimento do modelo Stanford Watershed em 1966, inúmeros modelos hidrológicos vêm sendo desenvolvidos usando as bacias urbanas como uma unidade espacial fundamental para descrever os vários componentes do ciclo hidrológico, em escalas temporal e espacial (Semmens et al., 2000). Modelos de chuva-vazão-erosão são utilizados cada vez mais na investigação das mudanças climáticas e nos impactos do uso e ocupação do solo sobre a produção de sedimentos e o escoamento superficial em bacias urbanas.

Diversos estudos utilizam-se de modelos hidrológicos para a modelagem dos processos físicos numa bacia. Esta ferramenta tem sua utilidade comprovada em estudos voltados para: simulação hidrológica, estudos de impactos ambientais, dimensionamento de sistemas de abastecimento, avaliação de níveis de reservatórios, operação e controle de cheias e drenagem urbana.

Portanto, os modelos hidrológicos são essenciais para a análise e simulação da hidrologia numa bacia hidrográfica, atuando como uma ferramenta auxiliar na solução de problemas de planejamento e no processo de tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos (Silva, 2005).

Segundo Rennó & Soares (2000), um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem esta realidade. Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso da terra e ajudam a prever alterações futuras nos locais onde são implantados.

Um exemplo prático do uso dos modelos pode ser visto no trabalho de Jurgens & Fander (1992) que avaliaram a erosão do solo em uma pequena área, e fizeram uma classificação multitemporal de duas imagens de satélite para determinar informações sobre o uso e ocupação do solo. Nesse estudo, os fatores declividade e comprimento de vertente foram adquiridos por um modelo de elevação digital. Como resultado, correlacionaram as classes de uso do solo e sua contribuição à erosão, mostrando que solos com cultivo de vinhedos contribuíram mais para o processo de erosão do que as outras classes analisadas. Verificaram também que solos profundos foram menos afetados pela erosão do que solos rasos.

De acordo com Oliveira (2003), os modelos hidrológicos são usados para simular situações hipotéticas com o objetivo de avaliar impactos de alterações ocorridas no uso e ocupação do solo.

A modelagem hidrológica das alterações em bacias hidrográficas é um problema complexo e uma questão que vem preocupando os responsáveis pelo gerenciamento dos recursos naturais de bacias urbanas. O desenvolvimento de modelos hidrológicos distribuídos tem conduzido a significativas melhorias nas simulações hidrológicas, uma vez que a análise pode ser realizada do ponto de vista espacial. Contudo, inúmeros estudos têm descrito o uso de técnicas de geoprocessamento em modelagem hidrológica, enfatizando a importância destas aplicações para o desenvolvimento de novas técnicas no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (Maidment, 1993; Saghafian et al., 2000).

2.3 Sistemas de informações geográficas e modelagem hidrológica

A utilização de modelos hidrológicos em bacias experimentais gera uma significativa quantidade de dados, que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais.

Estes dados são melhor trabalhados com o auxílio de ferramentas SIG (Sistemas de Informações Geográficas), pois permitem rapidamente identificar, classificar e processar as informações, através da criação de bancos de dados.

A utilização de uma ferramenta SIG constitui hoje num instrumento de grande valia para o estabelecimento de planos integrados de uso e ocupação do solo e da água, seja no meio rural ou urbano. A principal vantagem na utilização do geoprocessamento reside na possibilidade de estudar diferentes cenários com um baixo custo e de forma rápida. O acoplamento de modelos hidrológicos com o SIG não é uma integração recente e nos últimos anos tem aumentado consideravelmente (Silva, 2005).

Os SIG's têm sua eficiência comprovada através de diversos trabalhos, nas mais diversas áreas do conhecimento. Os trabalhos de Pinto (1991) e Lima et al. (1992) podem exemplificar a sua utilização.

Pinto (1991) propôs um procedimento para o estudo da erosão do solo utilizando dados de sensoriamento remoto (fotografias aéreas, imagens TM/Landsat e HRV/SPOT) e um SIG. As imagens foram processadas por diversas técnicas de processamento digital com o objetivo de melhorar a identificação do uso e ocupação do solo na verificação de indícios de erosão. Os fatores de erodibilidade e topografia foram adquiridos de documentos cartográficos referentes aos tipos de solo e as curvas de nível, respectivamente. O processamento destes dados foi realizado através do SIG pela interface SITIM/SIGI, resultando numa estimativa do potencial natural de erosão do solo.

Lima et al. (1992) apresentaram um método de utilização de um SIG e de dados de sensoriamento remoto orbital para gerar mapas de suscetibilidade e de riscos de erosão do solo. O fator erodibilidade foi estabelecido através de um nomograma, o fator topográfico foi determinado através da geração de um modelo digital de terreno, a erosividade obtida através de curvas de isoerodente, e os fatores de uso e manejo do solo, obtidos através de dados digitais TM/Landsat. Estes dados foram integrados em um SIG para obtenção do mapa de susceptibilidade à erosão do solo. Os resultados demonstraram a eficiência do uso do SIG e de imagens orbitais na geração de mapas de erosão para grandes bacias hidrográficas.

De acordo com Santos & Zeilhofer (2005), a integração de modelos hidrológicos em ambientes de sistemas de informação geográfica (SIG) subsidia a parametrização de bacias e facilita a manipulação de informações do modelo que agrega equações matemáticas, mapas da região estudada e dados numéricos, além de permitir a visualização e avaliação dos resultados no contexto geográfico.

Porém, a falta ou a pouca quantidade de dados hidrológicos e físicos se torna um problema para os pesquisadores, que buscam a solução deste problema utilizando dados de literatura ou de trabalhos realizados em áreas com características semelhantes.

Paiva et al. (2008) realizaram trabalho onde apresentaram os resultados do monitoramento hidrológico e os primeiros resultados da estimativa da produção de sedimentos em parte da bacia experimental do Riacho Gameleira, no Estado de Pernambuco. Nesse trabalho os autores utilizaram o programa Kineros2 para realizar a modelagem da produção de sedimentos e para calibrar o modelo foram usados parâmetros encontrados na literatura e obtidos em ensaios de campo de trabalhos anteriores. Obtiveram resultados aceitáveis para uma primeira tentativa de simular a

produção de água e erosão em parte da bacia experimental do Riacho Gameleira e ressaltaram a importância da realização de campanhas de medição da produção de sedimentos em bacias experimentais na região do Nordeste brasileiro.

Em Aragão et al. (2008), o modelo Kineros2 foi aplicado com o objetivo de simular os processos hidrossedimentológicos, utilizando duas discretizações para a bacia do rio Japarutuba-Mirim, no Estado de Sergipe. Para esse trabalho, foram utilizados dados observados de precipitação e vazão e devido à indisponibilidade de dados referentes às características do solo (textura do solo, granulometria, horizontes e suas profundidades), tipo de cobertura, topografia, levantamento plani-altimétrico, dentre outros, foram adotados valores sugeridos em literatura. Os resultados da simulação mostraram que não foi possível simular a lâmina observada e vazão de pico com um mesmo grupo de parâmetros, tendo a condutividade hidráulica saturada K_s sido calibrada para o ajuste das lâminas e para as vazões de pico. A resposta do modelo não foi sensível às discretizações da bacia. Os autores concluíram que a produção de sedimentos foi compatível com dados de bacias de mesmas dimensões.

2.4 Estimativa das propriedades hidrodinâmicas do solo

Buscando sanar ou amenizar o problema da falta de dados, Haverkamp et al. (1998) deram origem a um método denominado Beerkan que se baseia principalmente em ensaios empíricos simplificados de infiltração e na análise da distribuição dos tamanhos das partículas do solo. Desta forma, as curvas de retenção da água no solo, $h(\theta)$, e da condutividade hidráulica, $K(\theta)$, podem ser descritas por cinco parâmetros: dois de forma e três de normalização. Comparando o método Beerkan com outros métodos experimentais, este se mostra eficiente, com baixo custo e com uma aplicação simples e rápida. O método Beerkan vem sendo aplicado em bacias hidrográficas (Galle et al., 2001; Braud et al., 2003; Souza et al., 2008), melhorado e avaliado com dados simulados.

Furtunato et al. (2008) aplicaram diversas funções de pedotransferência disponíveis na literatura para estimar o valor da condutividade hidráulica e compararam os resultados destas funções com os resultados do método Beerkan para a bacia experimental do riacho Gameleira. As estimativas da condutividade hidráulica saturada através das funções de pedotransferência mostraram um desempenho satisfatório para a área de estudo e a comparação dos resultados das funções com os resultados do método Beerkan indicou que as duas metodologias podem trazer resultados satisfatórios para a avaliação da condutividade hidráulica saturada, com uma vantagem para o método Beerkan, que considera o efeito estrutural do solo, tornando-

o mais adequado em estudos de análise temporal das propriedades hidráulicas do solo.

Souza (2003) determinou as características hidrodinâmicas de dois solos, através de dados obtidos com o método Beerkan, realizando ensaios de infiltração em duas áreas experimentais cultivadas com feijão e com condições ambientais distintas. A primeira área foi em um Neossolo Flúvico (NF) e a segunda em um Latossolo Amarelo (LA). O autor considera viável a aplicação da metodologia para a determinação das propriedades hidrodinâmicas.

3 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

A bacia do Riacho Guaraira foi escolhida para a realização deste estudo devido ao fato de já existir um monitoramento de precipitação e vazão em sua área e por ser uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Gramame, que é de grande importância para o sistema de abastecimento hídrico dos municípios Paraibanos de João Pessoa, Bayeux, Santa Rita e Cabedelo.

A bacia experimental do Riacho Guaraira possui uma área de 5,74 km² e está localizada entre os municípios de Alhandra e Pedras de Fogo entre as coordenadas 7°30'00"S 35°20'00"O e 7°20'00"S 34°50'00"O (Figura 3.1), em propriedade da agroindústria GIASA – Gramame Agro Industrial S.A.

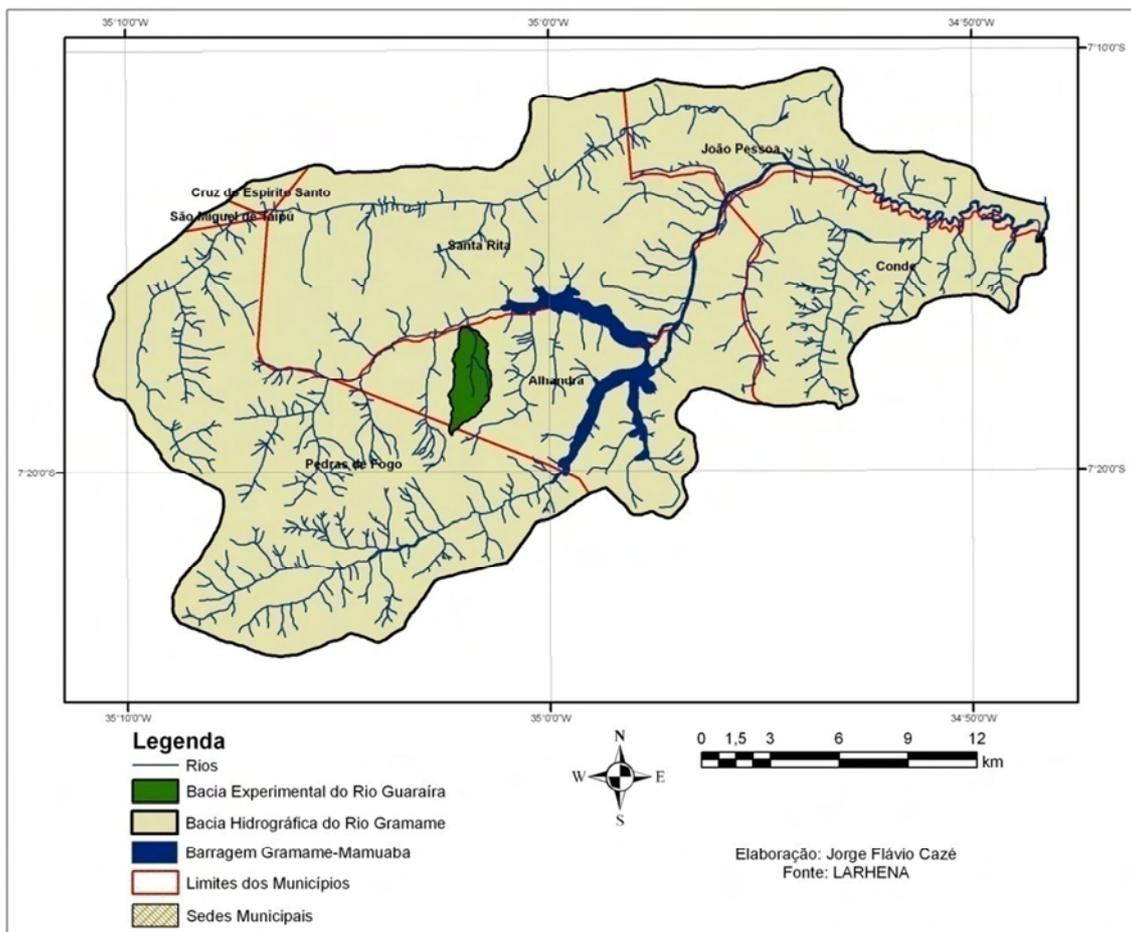


Figura 3.1 – Mapa de localização da bacia experimental do Riacho Guaraira na bacia hidrográfica do Rio Gramame.

A bacia experimental do Riacho Guaraíra foi escolhida pelo projeto IBESA – Instalação de Bacia Experimental na Região Semi-Árida, no final de 2002, para instalação de equipamentos para monitoramento hidrológico e ambiental. Este projeto tem como finalidade instalar várias bacias experimentais no Nordeste Brasileiro. O projeto IBESA foi formado por sete universidades da região Nordeste do Brasil, cada uma contribuindo com seu grupo de estudo em recursos hídricos, formando assim a REHISA (Rede de Hidrologia do Semi-Árido).

Na bacia experimental do Riacho Guaraíra foi implantado ainda o projeto de Estudos Hidrossedimentológicos numa Bacia Experimental do Litoral Nordestino (Edital MCT/CNPq/CT-HIDRO nº 13/2005) que teve como objetivo realizar estudos hidrossedimentológicos através de técnicas de modelagem, geoprocessamento e sensoriamento remoto, buscando aperfeiçoar o monitoramento e a gestão sustentável da água e do solo visando a redução dos processos de perda de solo, erosão e assoreamento na bacia.

3.1 Altimetria e Hidrografia

Como parte do desenvolvimento dos projetos descritos anteriormente, foi realizado um levantamento topográfico para a bacia experimental, utilizando uma estação total e um receptor GPS e gerando uma carta topográfica na escala de 1:10.000 com curvas de nível com equidistância de cinco metros e os cursos d'água existentes na bacia (Figura 3.2).

Com relação à hidrografia, na bacia encontram-se oito canais com um comprimento aproximado de 5,2 km, sendo cinco canais de primeira ordem, dois de segunda ordem e um de terceira ordem.

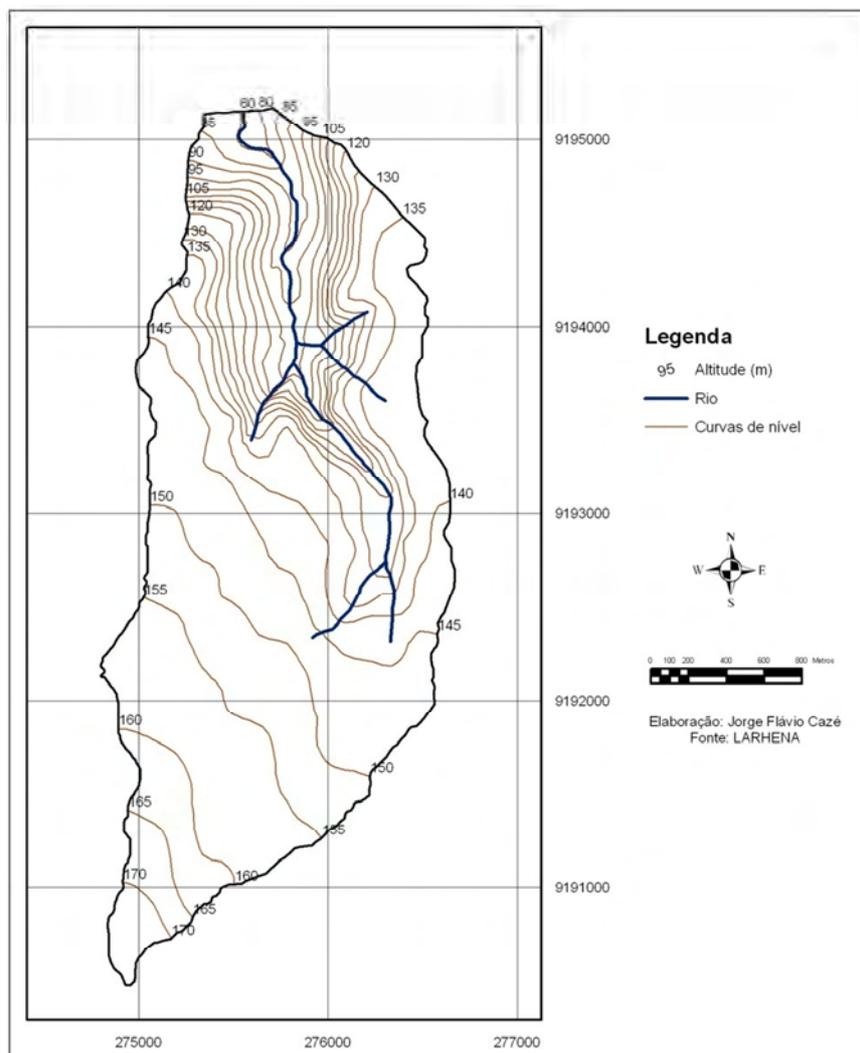


Figura 3.2 – Altimetria e hidrografia da bacia experimental do Riacho Guaraira.

3.2 Solos

Tomando como base o levantamento topográfico e hidrográfico, realizou-se a identificação dos tipos de solo na bacia (Figura 3.3), de acordo com o Levantamento Exploratório de Solos dos municípios de Alhandra e Pedras de Fogo, disponibilizados pela Embrapa Solos, na escala de 1:500.000 (SUDENE, 1972).

Foram encontrados dois tipos de solo na bacia, o Podzol Hidromórfico (HP) encontrado em 78% da área da bacia e o Podzólico Vermelho-Amarelo (PV3) nos 22% da área restante.

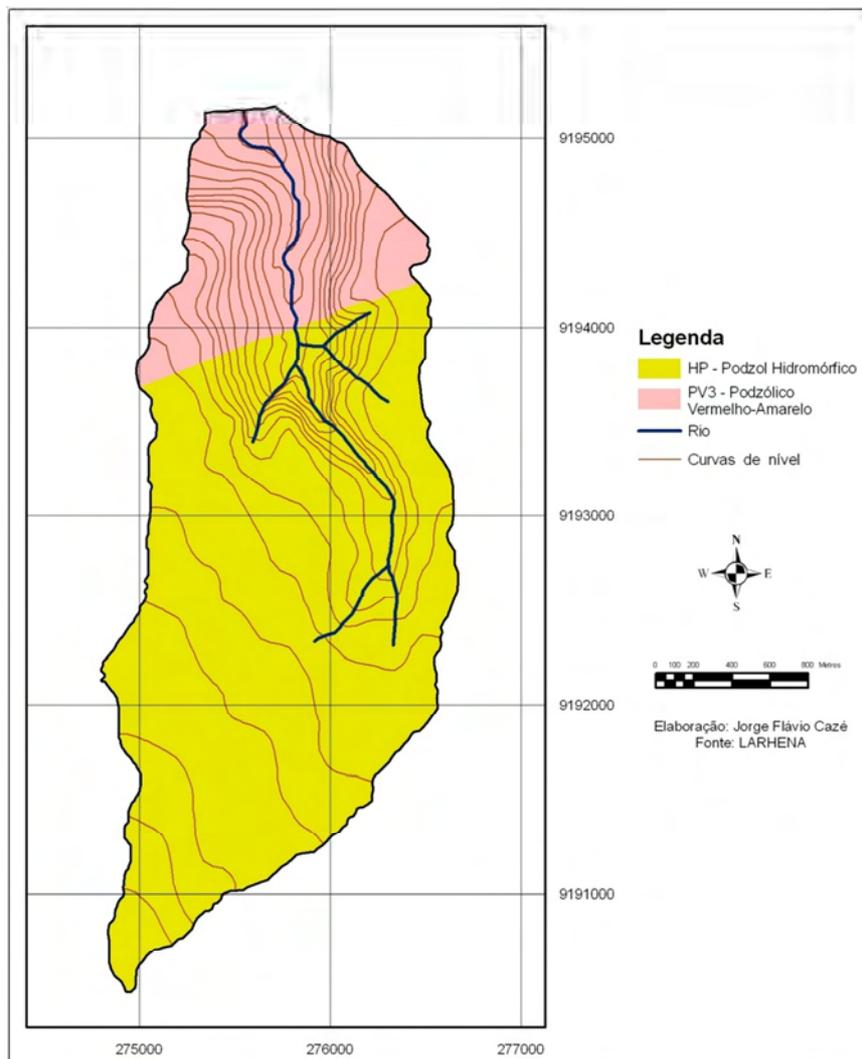


Figura 3.3 – Tipos de solo na bacia experimental do Riacho Guaraiá.

3.3 Clima

Na bacia experimental do Riacho Guaraíra estão instalados equipamentos para o monitoramento climatológico e pluviométrico através de quatro estações pluviográficas e uma estação climatológica. A descrição e localização destes postos de monitoramento pode ser conferida na Tabela 3.1 e na Figura 3.4, na qual se encontra a localização dos piezômetros.

Tabela 3.1 – Descrição dos postos de monitoramento climatológico e pluviométrico.

Fonte: LARHENA.

Nome	Longitude (m)	Latitude (m)	Período de dados
Posto 1	275402	9194296	2004 – 2009
Posto 2	275788	9192719	2004 – 2009
Posto 3	275608	9190997	2004 – 2009
Posto 4	276824	9192848	2004 – 2009
Posto 5	276555	9194206	2004 – 2009

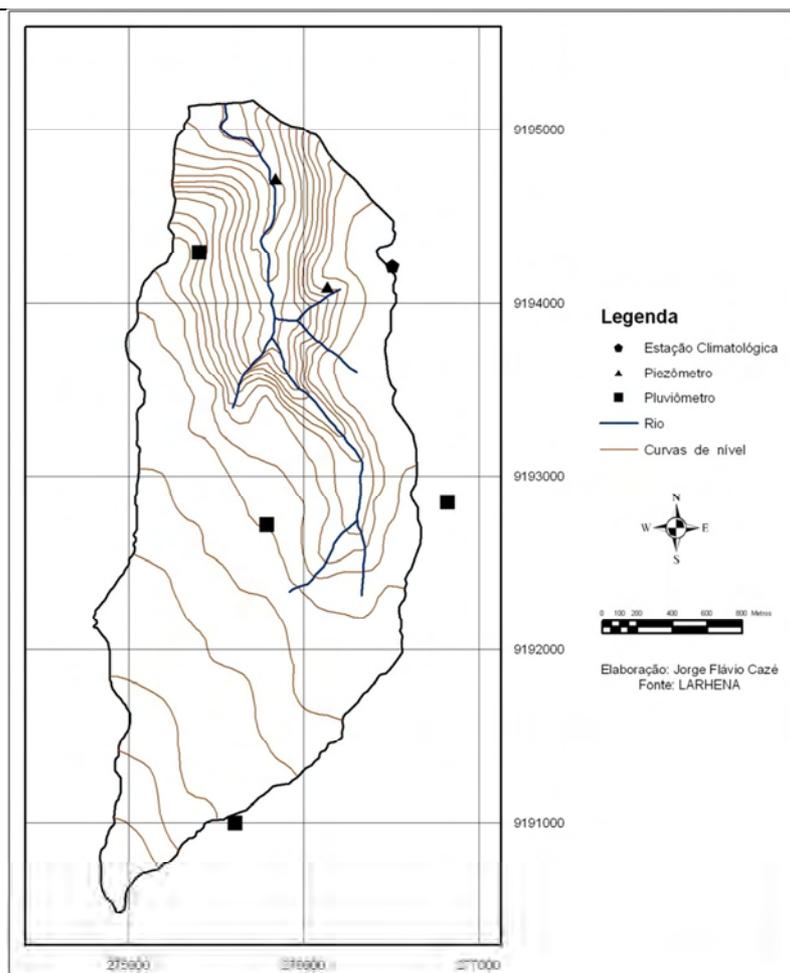


Figura 3.4 – Distribuição dos equipamentos de monitoramento climatológico na bacia experimental do Riacho Guaraíra.

Do ponto de vista climatológico, observa-se que o período chuvoso concentra-se em cinco meses, compreendidos entre março e julho, com uma precipitação média anual de aproximadamente 1.600 mm. Segundo a classificação de Köppen, a bacia localiza-se em clima tropical chuvoso. A evaporação, medida em tanque classe A na estação climatológica de Marés, apresenta um valor médio de 1.300 mm/ano. Apesar destes índices, a região de estudo possui características de região semi-árida, inclusive com ocorrência de vegetação semelhante à encontrada na região semi-árida, como pode ser visto na Figura 3.5.



Figura 3.5 – Ocorrência de vegetação característica de regiões semi-áridas na área de estudo.

Foto: Uiara T. M. Araújo, junho de 2009.

3.4 Uso do solo

A bacia vem passando por um processo de desmatamento e ocupação desordenada, como pode ser observado comparando-se o levantamento de uso do solo para o ano de 1974 e 2004 (Figura 3.6).

Realizando a comparação, no ano de 1974 a área de mata densa era de 1,41 km², cerca de 24,62% da área da bacia e o plantio da cana-de-açúcar ocupava uma área de 0,36 km², o que corresponde a 6,19% da área da bacia. No ano de 2004, trinta

anos depois, a área de mata densa perdeu 1,17 km² do seu território, ocupando apenas 0,24 km², ou 4,25% da área da bacia, dando lugar a cana-de-açúcar que teve um acréscimo de 1,21 km², ocupando agora 27,32% da área da bacia. Durante este período foi implantada também a cultura do abacaxi, aparecendo em 0,24%, ou 0,01 km² do território da bacia (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Evolução do uso e ocupação do solo para a bacia experimental entre os anos de 1974 e 2004

1974			2004		
	Área km ²	%		Área km ²	%
Mata densa	1,41	24,62	Mata densa	0,24	4,25
Veg. Rasteira	3,97	69,14	Veg. Rasteira	3,91	68,13
Cana-de-açúcar	0,36	6,19	Cana-de-açúcar	1,57	27,32
Abacaxi	0,00	0,00	Abacaxi	0,01	0,24

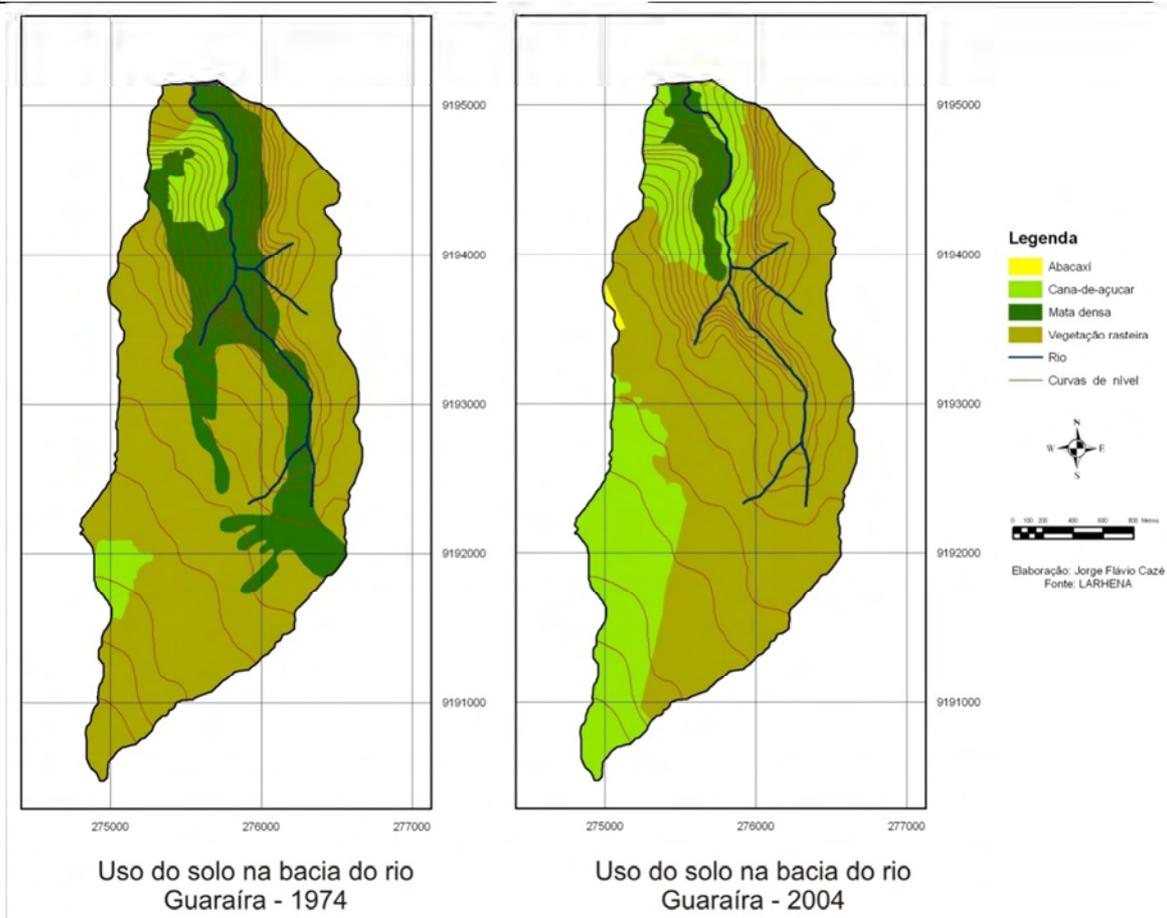


Figura 3.6 – Uso do solo na bacia experimental do Riacho Guaraira nos anos de 1974 e 2004 (Fonte: Silva et al., 2007).

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamentos cartográfico e bibliográfico

Para auxiliar o desenvolvimento do trabalho, foi realizado um levantamento do material cartográfico e bibliográfico existente para a bacia experimental. A partir dos dados provenientes deste levantamento foram elaborados os mapas de localização da área de estudo, altimetria e hidrografia, tipos de solo, distribuição dos equipamentos de monitoramento climatológico e os mapas de uso do solo para os anos de 1974 e 2004, os quais foram apresentados no Capítulo 3, nas figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.6 respectivamente. Após esta etapa confeccionou-se um mapa com a distribuição dos pontos onde seriam realizados os ensaios de infiltração e criou-se uma malha onde os pontos eram distribuídos na área da bacia experimental, obedecendo a uma distância de 200 metros entre si. (Figura 4.1). Desta forma, obteve-se um total de 196 pontos, que eram acessados em campo através do auxílio de um receptor GPS da marca Garmin, modelo Etrex. As coordenadas dos pontos eram inseridas no receptor e através da função *go to* (ir para) do aparelho, localizava-se esses pontos na bacia.

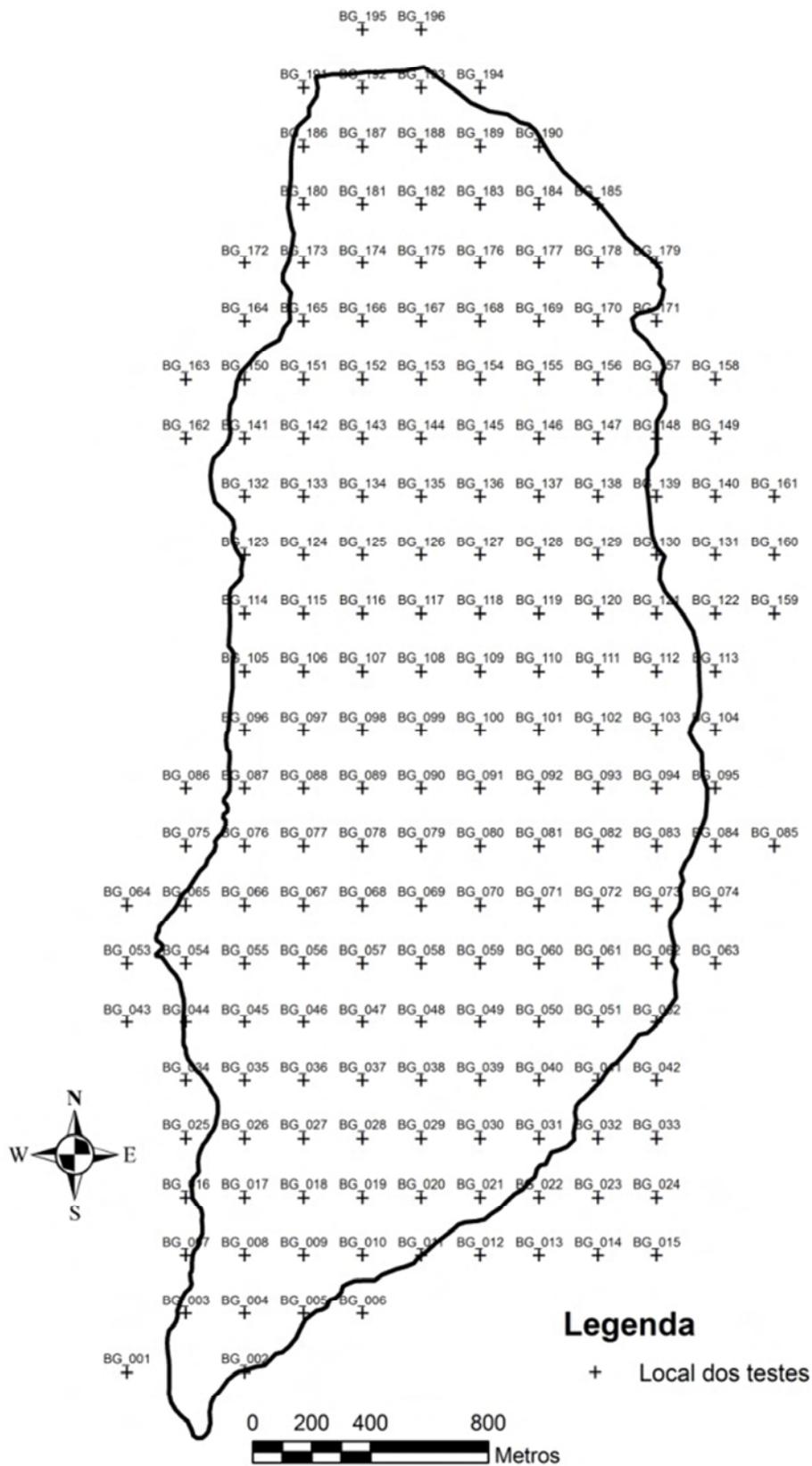


Figura 4.1 – Distribuição dos pontos para os ensaios de infiltração e coleta de amostras.

4.2 O método Beerkan

A metodologia conhecida como BEERKAN é desenvolvida através de ensaios simplificados de infiltração, utilizados para determinar os parâmetros hidrodinâmicos à escala local no campo.

Este método foi idealizado em Haverkamp *et al.* (1998) e apresenta uma grande vantagem em relação aos outros métodos experimentais devido à sua aplicação, que é mais simples, rápida e requer um número reduzido de pessoas e equipamentos, tornando-o mais econômico.

O método é utilizado para representar matematicamente o fenômeno da infiltração, ajustando as curvas de infiltração para determinar os parâmetros K_s e S (Sorvidade do solo).

Neste método as curvas de retenção da água no solo $\theta(h)$ e da condutividade hidráulica $K(\theta)$, são descritas pelos modelos de van Genuchten (1980), com a condição de Burdine e de Brooks & Corey (1964), respectivamente:

$$\frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} = \left[1 + \left(\frac{h}{h_g} \right)^n \right]^{-m} \quad \text{com} \quad m = 1 - \frac{2}{n} \quad (\text{Burdine, 1953}) \quad (1)$$

e

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^\eta \quad (2)$$

onde: n , m e η são parâmetros de forma

θ é a umidade volumétrica (m^3/m^3);

θ_r e θ_s as umidades volumétricas residuais e saturada (m^3/m^3), respectivamente;

h é o potencial matricial (m);

h_g é um valor de escala de h (m);

m e n são parâmetros de forma

K_s é a condutividade hidráulica saturada do solo (m/s);

η é o parâmetro de forma para a curva de condutividade hidráulica.

Essas funções contêm cinco parâmetros desconhecidos, dois de forma (n e η) relacionados à textura e três parâmetros de normalização (θ_s , K_s e h_g), que dependem da estrutura dos solos (Haverkamp *et al.*, 1998).

O método Beerkan utiliza as propriedades estáticas e dinâmicas do solo, como a curva granulométrica e a curva de infiltração da água no solo, respectivamente, para obter os parâmetros (m , n , η , θ_s , K_s , e h_g).

A aplicação do método Beerkan está dividida em duas etapas, os ensaios de campo e os ensaios de laboratório, estas etapas são descritas a seguir:

4.2.1 Ensaios de campo

A aplicação do método Beerkan se dá a partir de um teste simples de infiltração tridimensional, executado com um cilindro de PVC com um diâmetro de 180 mm, juntamente com coletas de solo para determinação da distribuição do tamanho das partículas, das umidades inicial e final, e da massa específica do solo. Os ensaios foram realizados de acordo com os seguintes passos operacionais:

- a) O cilindro é posicionado na superfície do solo e inserido a uma profundidade de aproximadamente 1 cm. O ensaio leva em consideração apenas a camada superior do solo e o aprofundamento do cilindro se dá para evitar perdas laterais de água durante o processo de infiltração.
- b) Coleta-se uma amostra do solo próximo ao cilindro, esta amostra servirá para determinar a umidade inicial (θ_0). Outra amostra é coletada do mesmo local para o ensaio de granulometria e determinação da curva de distribuição das partículas.
- c) São preparados então quinze volumes de água (cada um contendo 150 ml), estes volumes são vertidos no cilindro, o primeiro volume irá preencher a área do cilindro e o tempo começará a ser medido, logo após o esvaziamento do cilindro outro volume de água é entornado no cilindro, esse procedimento é repetido sucessivamente, realizando e tomando nota do tempo em que o volume levou para infiltrar no solo, até que seja vertido o último volume de água.
- d) Após o término do teste de infiltração, é coletada uma amostra indeformada do solo dentro do perímetro do cilindro. Essa amostra deve ser coletada utilizando um cilindro de volume conhecido para a determinação da densidade do solo (ρ_d). Outra amostra do solo é coletada de dentro do perímetro do cilindro para obter a umidade final (θ_f).

O tempo em que os volumes de água levam para infiltrar no solo devem ser anotados em uma planilha, para determinação da curva de infiltração de água no solo, bem como a identificação das coordenadas geográficas do local do ensaio e o número de identificação dos recipientes onde estão contidas as amostras de solo. O material coletado em campo deve ser pesado e anotado os seus valores na mesma planilha.

A curva de distribuição do tamanho das partículas é obtida através de ensaios de granulometria, esse ensaio obedece às normas estabelecidas pela NBR-7181, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1984).

Inicialmente a amostra era pesada, em seguida era peneirada na peneira #10. O material retido na peneira era lavado, secado em estufa a 110° C durante vinte e quatro horas e pesado. Do material que passou pela peneira, pesava-se 50 g para determinação da umidade higroscópica e esse material era colocado para secar na estufa.

Ainda do material que passou na peneira #10, era retirada uma amostra de 100 g que era “lavada” na peneira #200, posteriormente esse material era secado na estufa.

A análise granulométrica era realizada após a secagem do material, onde a amostra de 50 g era pesada novamente. A amostra de 100 g do material que passou pela peneira #10 era peneirada, após a secagem, no conjunto de peneiras referente a fração pedregulho, que compreende as peneiras de 1,2; 0,6; 0,42; 0,30; 0,15; 0,074 mm de abertura, anotando-se o peso retido em cada peneira.

4.2.2 Análise dos dados de campo e determinação dos parâmetros de forma das curvas de retenção e de condutividade hidráulica

Após a etapa dos ensaios de campo, as amostras de solo coletadas para determinar a umidade gravimétrica inicial, final e a massa específica do solo eram pesadas e posteriormente colocadas na estufa para secagem por 24 horas. Após a secagem pesava-se o material novamente. Os valores resultantes eram então inseridos em uma planilha eletrônica.

A determinação das umidades gravimétrica inicial w_0 e final w_f é dada pela equação 3 e a massa específica do solo ρ_d é determinada pela equação 4.

$$\theta = \frac{V_a}{V_t} \quad (3)$$

sendo: V_a o volume de água da amostra e V_t o volume total da amostra

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_t} \quad (4)$$

onde: M_s é o peso da amostra seca e V_t o volume total da amostra

Posteriormente, os dados da curva granulométrica e de infiltração da água no solo, juntamente com os dados de θ_0 , θ_s e ρ_d são inseridos no *software* BEST, para determinação dos parâmetros de forma e normalização.

4.2.2.1 Determinação dos parâmetros de forma m , n e η .

Para determinar os parâmetros de forma, Haverkamp & Parlange (1986) assumiram a similaridade de forma entre a curva de distribuição do tamanho das partículas $F(D)$ e da curva de retenção da água no solo $\theta(h)$ e apresentaram a seguinte equação para expressar $F(D)$:

$$F(D) = \left[1 + \left(\frac{D_g}{D} \right)^N \right]^{-M} \quad \text{com } M = 1 - \frac{2}{N} \quad (5)$$

onde: D é o diâmetro da partícula [L];

D_g o parâmetro de escala do tamanho das partículas [L];

M e N os parâmetros de forma da curva de distribuição do tamanho das partículas.

Os parâmetros de forma da curva de retenção m e n são obtidos a partir do índice de forma do meio (p_m) pelas seguintes relações:

$$m = \frac{1}{p_m} \left(\sqrt{1 + p_m^2} - 1 \right) \quad (6)$$

$$n = \frac{2}{1 - m} \quad (7)$$

O índice de forma do meio (p_m) pode ser estimado a partir de M e N usando (Zataráin et al., 2003):

$$p_m = \frac{MN}{1 + M} (1 + \kappa)^{-1} \quad (8)$$

sendo κ um coeficiente definido por Fuentes et al. (1998):

$$\kappa = \frac{2s - 1}{2s(1 - s)} \quad (9)$$

e s a dimensão fractal relativa.

Uma das propostas de Fuentes (1992) para obter os parâmetros de forma n e m para a curva de retenção $\theta(h)$ de van Genuchten (1980) leva em consideração que:

$$m = \frac{M}{1 + (1 + M) \cdot \kappa} \quad (10)$$

e

$$n = \frac{2}{1 - m} \quad (11)$$

A dependência de s ($s = Df/E$, na qual Df é a dimensão fractal do solo e $E = 3$ a dimensão de Euclides) com respeito à porosidade total do solo (ϕ) é definida implicitamente por:

$$(1 - \phi)^s + \phi^{2s} = 1 \quad \text{com } \frac{1}{2} < s < 1 \quad (12)$$

No caso da equação da curva de condutividade hidráulica de Brooks e Corey (1964), o seu parâmetro de forma, η , pode ser expresso como função do produto dos parâmetros de forma da curva de retenção e do fator de tortuosidade (p):

$$\eta = \frac{2}{mn} + 2 + p \quad (13)$$

sendo $p = 1$ para o modelo de Burdine (1953).

4.2.2.2 Determinação dos parâmetros de normalização

Os parâmetros de normalização (hg e K_s) são obtidos através da minimização de $I(S, K_s)$ ou seja, da soma dos quadrados da diferença entre as lâminas de água infiltradas observadas e calculadas. A lâmina de água infiltrada é calculada pela equação proposta por Haverkamp et al. (1994) válida para tempos curtos e médios:

$$I(S, K_s) = \sum_{i=1}^{N_{\text{obs}}} (I_i - S\sqrt{t_i} + a \cdot S^2 \cdot t_i + b_2 K_s t_i)^2 \quad (14)$$

com,

$$a = \frac{\gamma}{r\Delta\theta} \text{ e } b_2 = \left(\frac{\theta_0}{\theta_s}\right)^\eta + \frac{2-\beta}{3} \cdot \left(1 - \left(\frac{\theta_0}{\theta_s}\right)^\eta\right) \quad (15)$$

O algoritmo usado na minimização de $I(S, K_s)$ é o de Marquardt (1963) e o desempenho dos ajustes é analisado pelos valores correspondentes ao erro quadrático médio (EQM):

Após a determinação de θ_s e K_s , o parâmetro h_g é obtido pela seguinte equação (Lassabatère et al., 2006):

$$h_g = - \frac{S^2}{c_p(\theta_s - \theta_0) \left[1 - \left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^\eta\right] \cdot K_s} \quad (16)$$

na qual c_p é um parâmetro que depende apenas dos parâmetros de formas n , m e η dos modelos (Havercamp et al, 1998; De Condappa et al., 2002; Soria et al, 2003):

$$c_p = \Gamma\left(1 + \frac{1}{n}\right) \cdot \left[\frac{\Gamma\left(n\eta - \frac{1}{n}\right)}{\Gamma(n\eta)} + \frac{\Gamma\left(n\eta + m - \frac{1}{n}\right)}{\Gamma(n\eta + m)} \right] \quad (17)$$

sendo Γ a função Gama clássica.

4.3 O modelo Kineros2

O modelo Kineros2 foi criado para simular a erosão, o transporte de sedimentos e a infiltração e segundo Santos et al. (2001) e Lopes (2003), o Kineros2 inclui características como: (a) o algoritmo de infiltração que abrange o perfil do solo com duas camadas e incorpora um método baseado nas características físicas do solo, com a finalidade de redistribuir a água no solo durante os períodos sem chuva; e (b) o solo e os sedimentos que são caracterizados por uma distribuição em até cinco classes de tamanho de sedimento.

O Kineros2 é um modelo chuva-vazão-erosão usado para estimar o escoamento superficial e a produção de sedimentos em bacias urbanas e rurais. É um modelo cinemático, distribuído e de base física, que usa uma rede de planos e canais que representam os cursos d'água na bacia, sendo assim, a bacia é representada por uma cascata de planos e canais.

As equações diferenciais que descrevem o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e a deposição de sedimentos nesses planos e canais são resolvidas pela técnica de diferenças finitas.

4.3.1 O modelo de infiltração do solo

O modelo possui um algoritmo de infiltração que permite uma aproximação física para a redistribuição da água no solo, incluindo a capacidade de recuperação de infiltração durante as estiagens, determinando o percentual de infiltração depois desta estiagem.

O modelo de infiltração descreve a capacidade de infiltração f_c como uma função da profundidade infiltrada (I) e necessita de três parâmetros básicos para descrever as propriedades de infiltração, que são o de condutividade hidráulica efetiva saturada do solo K_s (m/s), a capilaridade integral do solo G (cm), e o índice de distribuição dos tamanhos dos poros λ . Também, existe uma variável relacionada ao evento que é a saturação relativa inicial da camada superior do solo (S_i), igual a θ/ϕ , no qual θ_i é a umidade inicial do solo e ϕ a porosidade. O modelo geral para a infiltrabilidade f_c (m/s) é dado, como uma função de profundidade infiltrada I (m), por:

$$f_c = K_s \left[1 + \frac{\alpha}{e^{\alpha I/B} - 1} \right] \quad (18)$$

onde B é igual a $(G + h)(\theta_s - \theta_i)$, combinando os efeitos da franja capilar G , altura do escoamento h (cm), e a capacidade de armazenamento unitária $\Delta\theta = (\theta_s - \theta_i)$, no qual θ_s é a umidade de saturação do solo. O parâmetro α representa o tipo de solo; isto é, próximo de 0 para areia, neste caso a equação (18) se aproxima da equação de Green-Ampt; e α é próximo de 1 para um solo franco misto, em tal caso a equação (18) representa a equação de infiltração de Smith-Parlange. Como dito, neste modelo existe uma redistribuição de água no solo, pois se considera que existindo uma estiagem prolongada, durante o evento de chuva, o solo deve secar. O método de redistribuição/reinfiltração usado no modelo é descrito em Smith et al. (1993), e também em Corradini et al. (1994).

4.3.2 Escoamento superficial no plano

A modelagem do escoamento superficial na bacia é resolvida pelo modelo Kineros2 baseado na resolução de equações diferenciais parciais, as quais descrevem o fluxo e a profundidade do nível da água como sendo funções do tempo e do espaço, sendo o escoamento superficial, o resultado da interação da precipitação com a bacia hidrográfica. Estas equações são formadas pela equação de continuidade, sob a seguinte forma (Santos et al., 2003; Lopes, 2003):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (19)$$

onde Q é a vazão (m^3/s), A é a área da seção transversal do canal (m^2), q é a entrada lateral do escoamento (m^2/s), x é a coordenada espacial (m) e t é a coordenada temporal (s). A equação da quantidade de movimento apresenta a seguinte forma:

$$\frac{l}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{l}{A} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = q \quad (20)$$

onde y é a profundidade do escoamento (m), g é a aceleração da gravidade, S_0 é a declividade do fundo do canal e S_f é a declividade da linha de energia, e as outras variáveis já foram mencionadas anteriormente.

4.3.3 Escoamento superficial no canal

O escoamento superficial no canal pode ser observado como um processo de escoamento uni-dimensional no qual o fluxo é relacionado a uma área de armazenamento unitária por uma relação exponencial simples:

$$Q = ah^m \quad (21)$$

onde Q no canal é a descarga por unidade de comprimento (m^2/s), e h é o armazenamento de água por unidade de área (m). Os parâmetros a e m são relacionados à declividade, à rugosidade e ao regime do escoamento, e são dados por $a = S^{1/2}/n$ e $m = 5/3$ onde S é a declividade, e n é o coeficiente de rugosidade de Manning. A equação de continuidade para um plano é dada por:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x, t) \quad (22)$$

onde t é o tempo (s), x é a distância na direção da declividade (m), e $q(x, t)$ é a taxa de vazão afluente lateral (m/s). Para o escoamento superficial, a equação resultante é resolvida usando um método das diferenças finitas de quatro pontos. A equação de continuidade para um canal com vazão afluente lateral é dada por:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_c(x, t) \quad (23)$$

sendo A a área da seção transversal (m²), Q é descarga no canal (m³/s), e $q_c(x, t)$ é a rede de vazão afluente por comprimento de canal (m²/s). A aproximação cinemática é incorporada na relação entre a descarga do canal e a área da seção transversal tal que:

$$Q = aR^{m-1}A \quad (24)$$

onde R é o raio hidráulico (m). As equações cinemáticas para canais são resolvidas por uma técnica implícita de quatro pontos similar àquela para escoamento superficial.

4.5.4 Erosão nos planos e canais

A equação geral usada para descrever a dinâmica dos sedimentos em qualquer ponto ao longo do escoamento superficial é uma equação de balanço de massa similar ao escoamento cinemático da água:

$$\frac{\partial(AC_s)}{\partial t} + \frac{\partial(QC_s)}{\partial x} - e(x, t) = q_s(x, t) \quad (25)$$

onde C_s é a concentração de sedimentos (m³/m³), Q é a taxa vazão (m³/s), A é a área da seção transversal do escoamento (m²), e é a taxa de erosão do solo do leito (m²/s), e q_s é a taxa de entrada lateral de sedimentos nos canais (m²/s). Para os planos, e é assumida como sendo compostas de dois principais componentes, isto é, produção de solo erodido pelos impactos das gotas de chuva sobre o solo descoberto, e erosão hidráulica (ou deposição) devido à interação entre a força de cisalhamento da água no solo solto do leito e a tendência das partículas do solo se sedimentarem sob a força da gravidade. Dessa forma, taxa total de erosão é um somatório da taxa de erosão pelo impacto das gotas de chuva e_s e a taxa de erosão hidráulica e_h :

$$e = e_s + e_h \quad (26)$$

A taxa de erosão pelo impacto da chuva é estimada como:

$$e_s = c_f e^{-c_h h} r^2 \quad (27)$$

na qual r é a intensidade da chuva efetiva (m/s), c_f é uma constante relacionada ao solo e às propriedades da superfície, e $e^{-c_h h}$ é um fator de redução representando a redução na erosão causada pelo aumento da altura da água. O parâmetro c_h representa a efetividade do molhamento da água superficial, assumido como sendo igual a 364,0. A taxa de erosão hidráulica (e_h) é estimada como sendo linearmente dependente da diferença entre a concentração de equilíbrio e a concentração corrente de sedimento e é dada por:

$$e_h = c_g (C_m - C_s) A \quad (28)$$

onde C_m é a concentração na capacidade de transporte em equilíbrio, $C_s = C_s(x,t)$ é a concentração de sedimento local corrente, e c_g é um coeficiente de taxa de transferência (s^{-1}), que é computado por:

$$c_g = C_o \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s \leq C_m \text{ (erosão)} \quad \text{ou} \quad c_g = \frac{v_s}{h} \text{ se } C_s > C_m \text{ (deposição)} \quad (29)$$

onde C_o é o coeficiente de coesão do solo, e v_s é a velocidade da queda da partícula (m/s). O modelo usa a relação da capacidade de transporte de Engelund e Hansen (1967), e a velocidade da partícula é calculada pela seguinte equação:

$$v_s^2 = \frac{4}{3} \frac{g(\rho_s - 1)d}{C_D} \quad (30)$$

no qual g é a aceleração gravitacional (m/s^2), ρ_s é a densidade relativa do sedimento, igual a 2,65, d é o diâmetro do sedimento (m), e C_D é coeficiente de resistência da partícula. O coeficiente de resistência da partícula é uma função do número de Reynolds:

$$C_D = \frac{24}{R_n} + \frac{3}{\sqrt{R_n}} + 0.34 \quad (31)$$

sendo R_n o número de Reynolds, dado por $R_n = v_s d / \nu$, no qual ν é a viscosidade cinemática da água (m^2/s). As equações citadas de erosão são aplicadas para cada um dos cinco tamanhos de classes das partículas, que são usadas para descrever um solo quando existe uma variação do tamanho das partículas. As equações (23 — 29) são resolvidas numericamente para cada espaço de tempo usado nas equações de escoamento, e para cada classe de tamanho de partícula.

4.3.5 Parâmetros de entrada de dados no modelo Kineros2

O modelo Kineros2 funciona a partir de informações de precipitação. Estes dados entram no modelo através de um arquivo de texto (Figura 4.2), que deve ser organizado da seguinte forma:

- Intensidade da precipitação (mm/h) ou altura de chuva (mm) – *Intensity* ou *Depth*;
- Tempo da precipitação em minutos – *Time*;
- Quantidade de eventos de chuva – *N*;
- Coordenadas de localização da estação – *X* e *Y*.

```

BEGIN RG01 !(Estação01)
X = 275402.000, Y = 9194296.000
N = 366      !Ano = 2003
TIME        DEPTH
!(min)      (mm)
  0          0.000
 1440       3.556
 2880       3.556
 4320       3.556
 5760       3.556
 7200       5.588
 8640       6.350
|
END

```

Figura 4.2 – Exemplo de um arquivo de entrada de chuva do modelo Kineros2.

4.3.6 Parâmetros do modelo Kineros2

Galvão (1990) diz que os modelos hidrológicos possuem uma estrutura definida e alguns parâmetros que controlam sua operação. Esses parâmetros são definidos para determinada bacia, particularizando o modelo para a bacia, para que o mesmo possa reproduzir o comportamento hidrológico da bacia de forma satisfatória.

No Kineros2, estes parâmetros dividem-se em dois tipos, os parâmetros globais, que se referem às características físicas da bacia como um todo, e os parâmetros distribuídos nos planos e canais.

4.3.6.1 Parâmetros globais do Kineros2

Os parâmetros globais (Figura 4.3) do modelo Kineros2 são:

- a) *Units* - sistema de unidades utilizado para todos os parâmetros (sistema métrico decimal ou inglês);
- b) *Clen* - comprimento característico, cujo valor é dado pelo comprimento do maior canal ou da maior cascata de planos;
- c) *Temperature* - temperatura em graus *Celsius* ou *Fahrenheit*;
- d) *Diameters* - diâmetros representativos das partículas de solo, em milímetros ou polegadas. O limite máximo é de cinco classes, por exemplo, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,05 mm, e 0,005 mm; e
- e) *Densities* - valores das massas específicas dos diâmetros das classes determinadas no parâmetro *Diameters*.

```

BEGIN GLOBAL
CLEN = 1452, UNITS = METRIC
DIAMS = .005, .05, .25, 0.50 ! mm
DENSITY = 2.65, 2.60, 2.60, 2.60 ! g/cc
TEMP = 28 ! deg C
Neta = 39
END GLOBAL
-----
BEGIN PLANE
ID = 1, LEN = 655.25, WID = 335.014, SL = .025, MANNING = 0.4
X = 275608.0000, Y = 9190997.0000
SPACING = 0.2, PR = 1
In = .99, Canopy = 1
THICK = 300, SAT = .7
KS      G      DIST  POR    ROCK
2.2     20     0.32  .32    0.00 ! upper layer
1.8     16     0.16  .24    0.00 ! lower layer
FRACT = 0.3, 0.2, 0.3, 0.2, SPLASH = 50, CO = 0.5
END PLANE
-----
BEGIN CHANNEL
ID = 12, UP = 4, LAT = 10.11, LEN = 420.71, Type = S
WIDTH  SLOPE  MANNING  SS1  SS2
10.0   .118    0.0009   .50  .80
COH = .4, FRA = 0.3, 0.3, 0.4
RAV = 0.1
END CHANNEL
-----

```

Figura 4.3 – Exemplo de um arquivo de entrada dos parâmetros do modelo Kineros2

4.3.6.2 Parâmetros dos planos do modelo Kineros2

Os parâmetros dos planos do modelo Kineros2 (Figura 4.3) estão listados abaixo:

- a) *Identifier* - número de identificação do plano;
- b) *Upstream* - número de identificação do plano a montante (se houver);
- c) *Length* - comprimento, em metros ou pés;
- d) *Width* - largura, em metros ou pés;

- e) *Slope* - declividade do plano;
- f) *Manning* - coeficiente de rugosidade de *Manning*;
- g) *Chezy* - coeficiente de *Chézy*;
- h) *Relief* - altura média do relevo da microtopografia, em milímetros ou polegadas;
- i) *Spacing* - distância média do relevo da microtopografia, em metros ou pés;
- j) *Interception* - interceptação vegetal, em milímetros ou polegadas;
- k) *Canopy cover* - fração da superfície ocupada por vegetação;
- l) *Saturation* - saturação inicial relativa do solo, razão entre a umidade inicial e a porosidade do solo;
- m) C_v - coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada efetiva;
- n) K_s - condutividade hidráulica saturada efetiva, em mm/h ou polegadas/h;
- o) G - valor efetivo do potencial de capilaridade do solo, em mm ou polegadas;
- p) *Distribution* - índice de distribuição do tamanho dos poros;
- q) *Porosity* - porosidade do solo;
- r) *Rock* - fração volumétrica de rochas;
- s) *Splash* - parâmetro que representa a erosão causada pelo impacto das gotas de chuva no solo;
- t) *Cohesion* - coeficiente de coesão do solo;
- u) *Fractions* - fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.

4.3.6.3 Parâmetros dos canais do modelo Kineros2

Os parâmetros que descrevem os canais no modelo Kineros2 (Figura 4.3) estão listados abaixo:

- a) *Upstream* - número de identificação do elemento (plano ou canal) à montante;
- b) *Lateral* - número de identificação dos planos que contribuem lateralmente para o canal;
- c) *Length* - comprimento, em metros ou pés;
- d) *Width* - largura, em metros ou pés;
- e) *Slope* - declividade do canal;
- f) *Manning* - coeficiente de rugosidade de *Manning*;
- g) *Chezy* - coeficiente de *Chézy*;
- h) $SS1$, $SS2$ - declividades laterais do canal;
- i) *Saturation* - saturação inicial relativa do solo, razão entre a umidade inicial e a porosidade do solo;
- j) C_v - coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada efetiva;

- k) K_s - condutividade hidráulica saturada efetiva, em mm/h ou polegadas/h;
- l) G - valor efetivo do potencial de capilaridade do solo, em mm ou polegadas;
- m) *Distribution* - índice de distribuição do tamanho dos poros;
- n) *Porosity* - porosidade do solo;
- o) *Rock* - fração volumétrica de rocha;
- p) *Cohesion* - coeficiente de coesão do solo;
- q) *Fractions* - fração de cada classe de diâmetros representativos do solo.
- r) P_{av} - ?

4.3.6.4 Estimativa dos parâmetros do modelo Kineros2

Os parâmetros globais, dos planos e dos canais listados anteriormente podem ser agrupados em três categorias:

a) Parâmetros obtidos através de ensaios na área de estudo ou de acordo com as características geométricas dos elementos: *Clen*, *Diameters*, *Densities*, *Upstream*, *Lenght*, *Width*, *Slope*, *Canopy cover*, C_v , G , *Porosity* e *Distribution*.

b) Parâmetros que podem ser obtidos através de literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia em estudo ou em pesquisas similares: *Manning*, *Chezy*, *Relief* e *Spacing*.

c) Parâmetros que necessitam de calibração: *Splash* que é o parâmetro c_f da equação (27), *Cohesion* que é o parâmetro C_o da equação (29), *Saturation* (S_i), condutividade hidráulica saturada do solo K_s e capilaridade integral do solo, presentes na equação 18.

5 – RESULTADOS

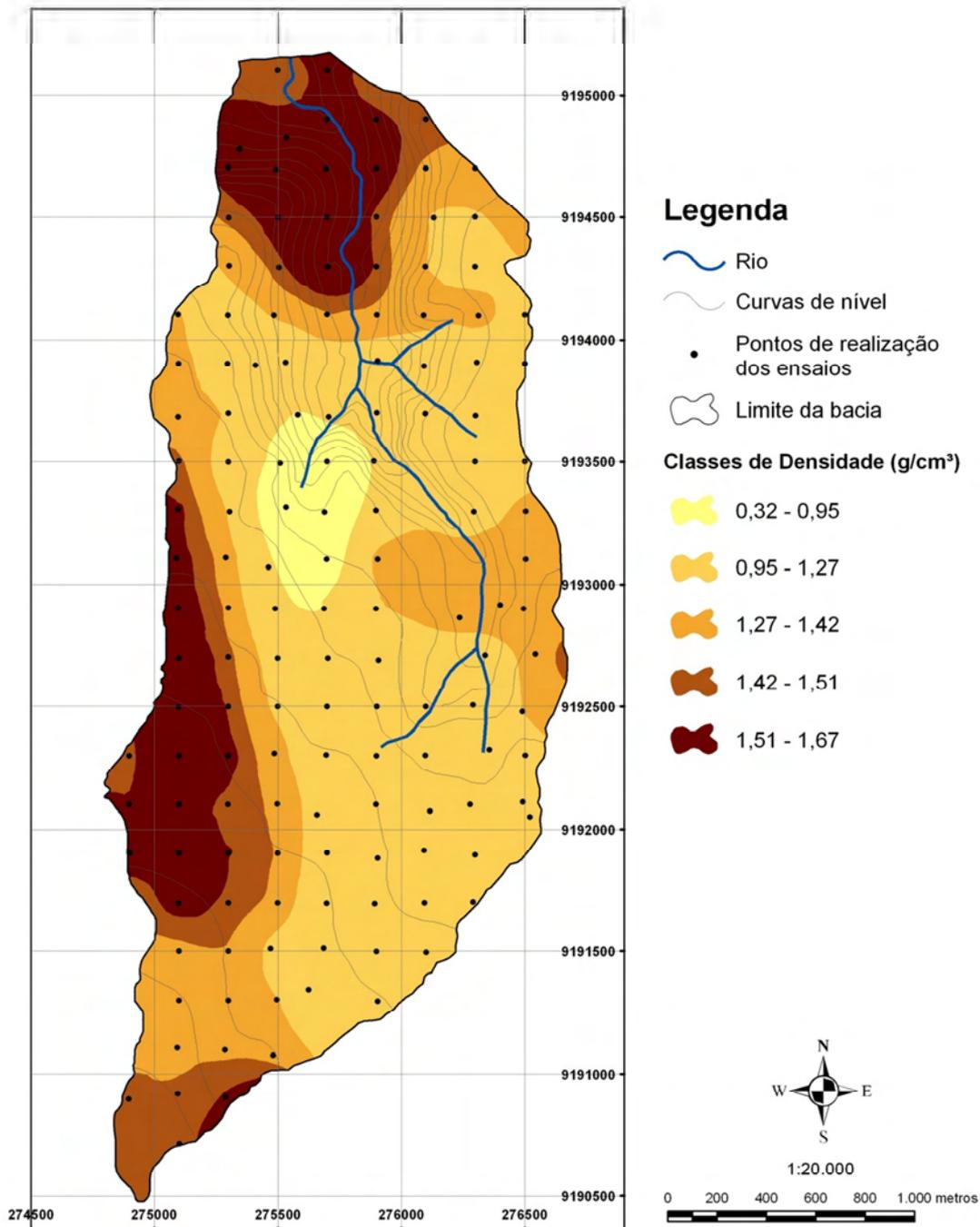
Este capítulo é composto de duas partes. Na primeira são analisados os dados obtidos nos ensaios de campo e laboratório, onde são apresentados os resultados de infiltração da água no solo $I(t)$ e das curvas granulométricas $F(D)$ em todos os pontos em que foram realizados ensaios. Na segunda parte, são apresentados os resultados das simulações hidrológicas utilizando uma modelagem hidrossedimentológica distribuída, com os valores dos parâmetros obtidos em literatura e através do método Beerkan.

5.1 Análise dos dados obtidos nos ensaios de campo

Foram realizados ensaios de infiltração e coleta de amostras de solo para análise granulométrica em 196 pontos espalhados na bacia experimental do Riacho Guaraíra, obedecendo a uma distância de 200 m entre cada ponto, como pode ser observado na Figura 4.1.

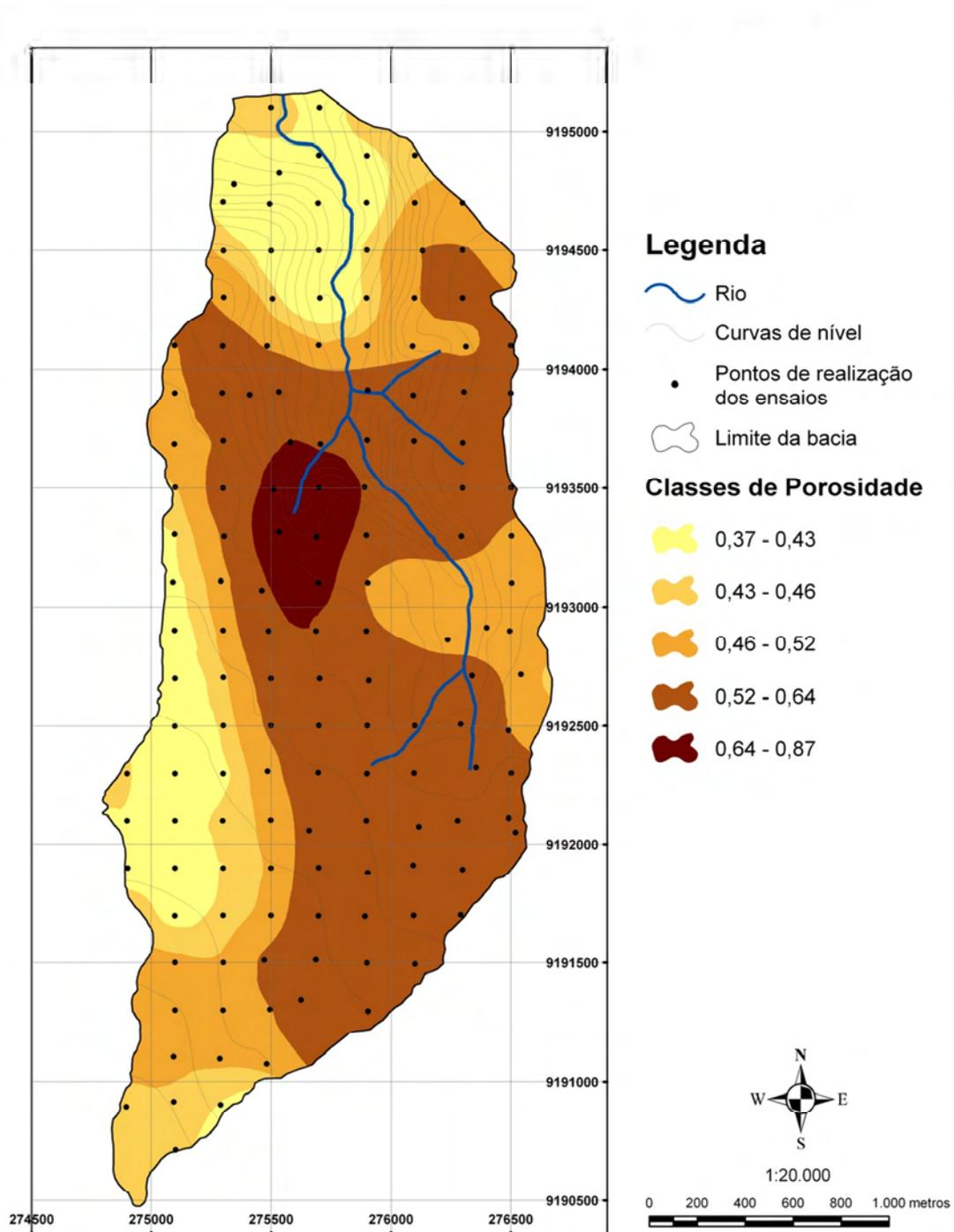
No entanto, diversas dificuldades podem ser encontradas nas pesquisas realizadas em campo, que prejudicam e até mesmo tornam impossível o desenvolvimento do trabalho. Nesta pesquisa não foi diferente, em alguns dos 196 pontos propostos não puderam ser realizados os ensaios devido à grande dificuldade de acesso, assim sendo, foram excluídos 8 pontos.

As anotações das planilhas de campo foram transcritas para planilhas eletrônicas e as amostras coletadas em campo foram pesadas para determinar as propriedades físico-hídricas, i.e., densidade (ρ_d), porosidade (ϕ), umidade inicial (θ_0) e umidade final (θ_s) da bacia. Os resultados das propriedades físico-hídricas são apresentados no Apêndice 1 e os mapas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 mostram as distribuições destes valores na área da bacia, respectivamente.



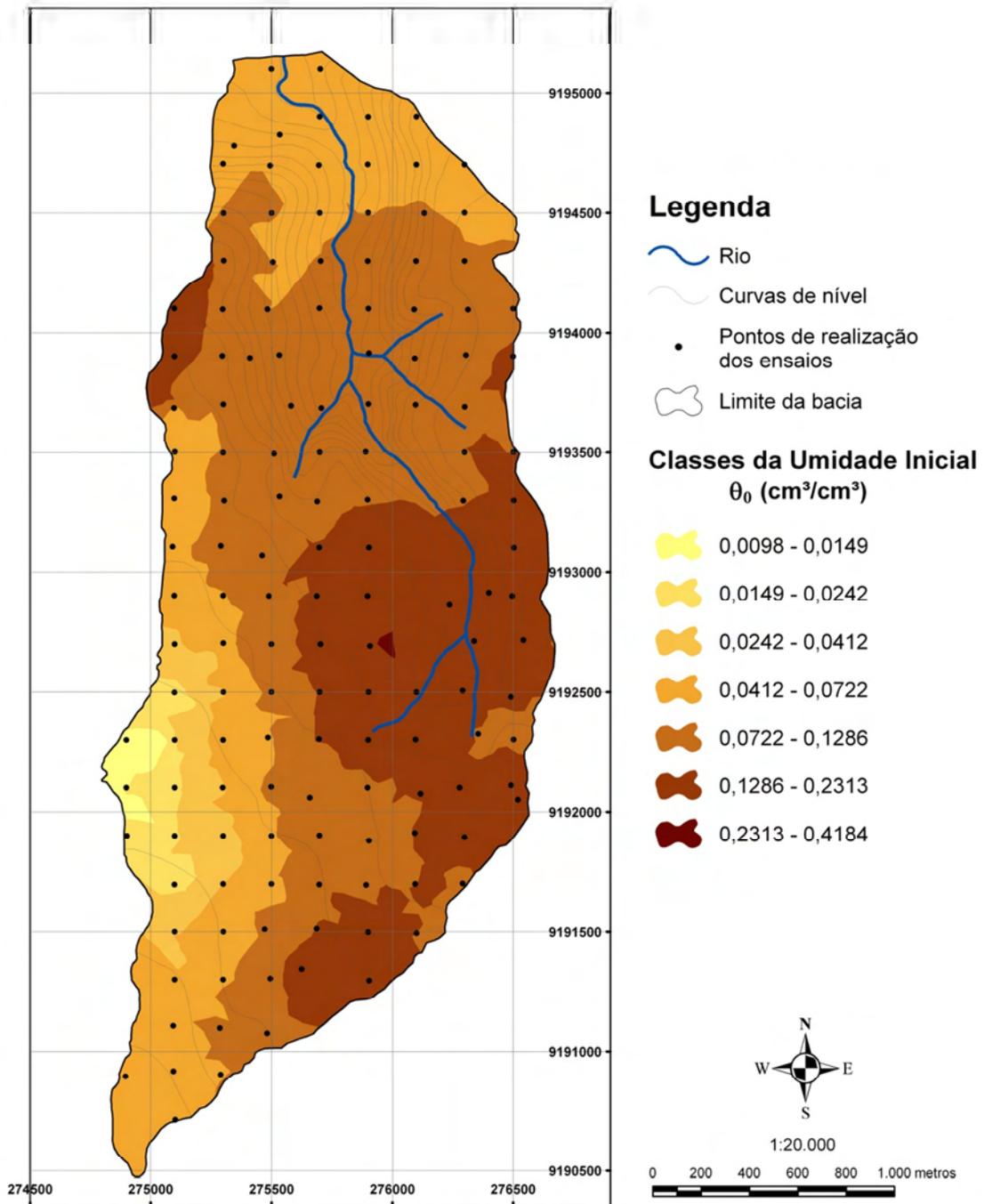
Mapa 5.1 – Densidade do solo na bacia do riacho Guaraíra

De acordo com o mapa 5.1, grande parte da bacia possui uma densidade variando de 0,95 a 1,27 g/cm³. De acordo com o mapa de uso do solo em 2004 (Figura 3.6), nas áreas que apresentam densidade entre 1,51 e 1,67, ocorre o cultivo da cana-de-açúcar. Estes valores podem ser atribuídos ao intenso revolvimento do solo, proporcionado pelo tipo de cultura e à incorporação dos resíduos culturais (Hill, 1990).



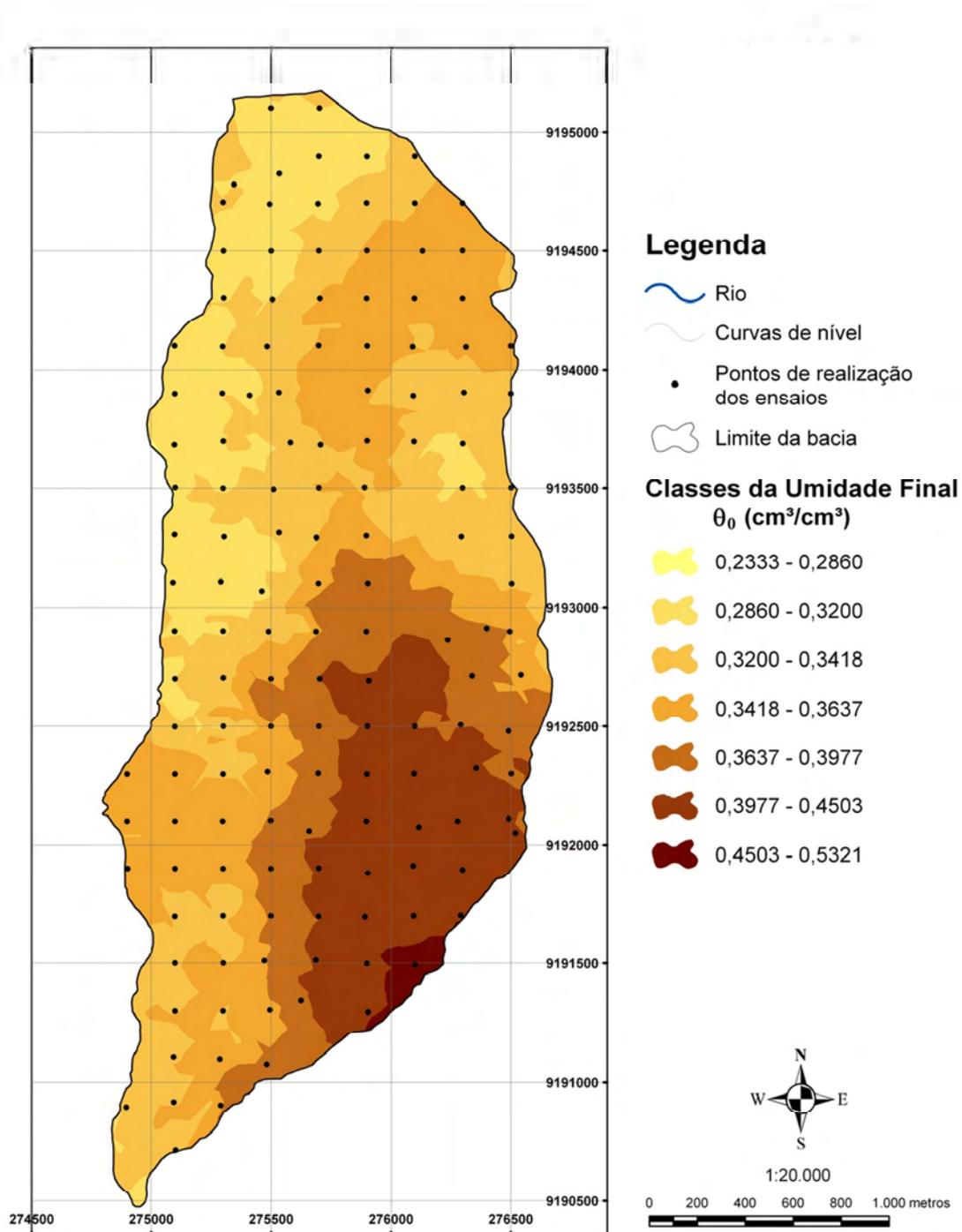
Mapa 5.2 – Porosidade do solo na bacia do riacho Guaraíra

O mapa 5.2 apresenta a distribuição espacial da porosidade do solo na bacia experimental, onde pode-se observar que os valores da porosidade são inversamente proporcionais aos da densidade, ou seja, nas áreas onde a densidade é maior, a porosidade é menor.



Mapa 5.3 – Umidade inicial da bacia do riacho Guaráira

O mapa acima (5.3) demonstra a distribuição espacial dos dados da umidade inicial na bacia, que apresenta grandes áreas variando entre 0,0412 a 0,1286 cm³/cm³, apresentando também uma certa homogeneidade da umidade.



Mapa 5.4 – Umidade final da bacia do riacho Guaraíra

O mapa 5.4 demonstra a distribuição dos dados da umidade final do solo, obtida após o ensaio de infiltração de água. As áreas onde se concentram os maiores valores para a umidade final apresentam coerência com os resultados da umidade inicial, porém, nota-se uma fragmentação das áreas, diferentemente do que acontece na umidade inicial.

Durante a execução dos ensaios de laboratório, verificou-se ainda uma anormalidade nos dados de infiltração de água no solo, entendida como sendo um fenômeno de repelência à água em solos arenosos.

A repelência à água, também conhecida como hidrofobia ou hidrorrepelência, vem sendo observada em várias partes do mundo, como Austrália, Estados Unidos, Japão e Brasil. Esse fenômeno é provocado por substâncias orgânicas hidrofóbicas e/ou anfifílicas, derivadas de restos vegetais, atividades microbianas e fungos e compostos orgânicos alifáticos classificados como hidrocarbonetos, ésteres, ácidos e outros que modificam as propriedades hidrodinâmicas e ecológicas do solo, ocasionando uma menor infiltração de água no solo, reduzindo o crescimento das plantas e aumentando o escoamento superficial, facilitando a erosão (Piccolo & Mbagwu, 1999). Para melhor exemplificar esse fenômeno, são apresentados a seguir gráficos com as curvas de infiltração.

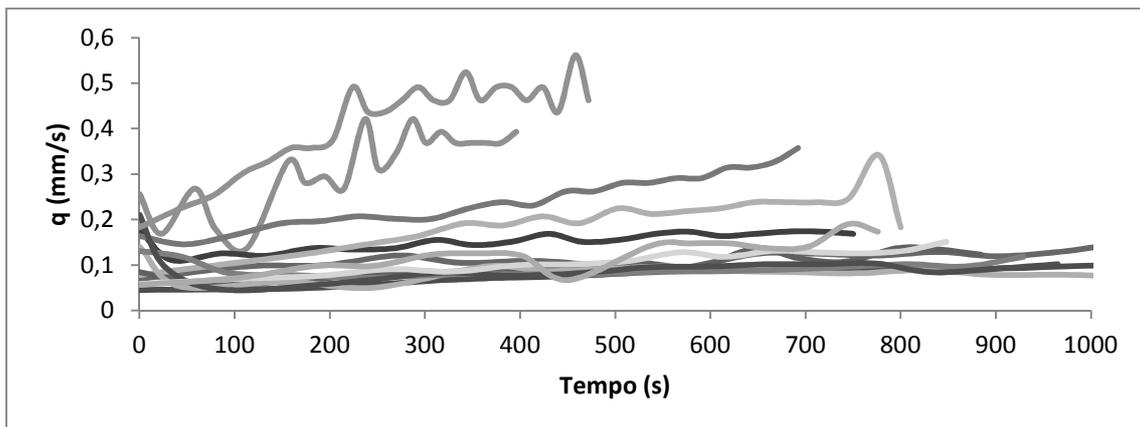


Figura 5.1 – Curvas de infiltração que apresentaram repelência à água

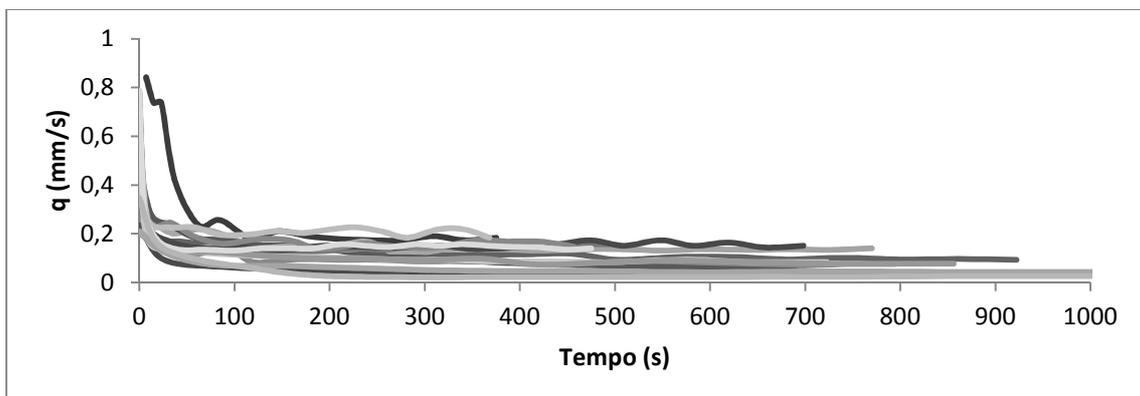


Figura 5.2 – Curvas de infiltração que não apresentaram repelência à água

A Figura 5.1 apresenta as curvas de infiltração dos pontos que apresentaram a repelência à água e na Figura 5.2 as curvas de infiltração dos pontos que apresentaram uma boa infiltração. Nota-se que as curvas da Figura 5.1 não obedecem a um padrão, diferentemente das curvas da Figura 5.2, que apesar das variações, tendem a começar com uma infiltração rápida, seguindo para estabilização posteriormente.

Desta forma, os pontos que apresentaram a repelência à água foram excluídos, restando então 57 pontos de observação, que posteriormente seguiram para os ensaios granulométricos, onde foram determinadas as curvas granulométricas.

5.1.1 Determinação das curvas granulométricas e classificação quanto ao tipo de solo

Durante os ensaios de campo foram coletadas amostras de solo para determinação da curva granulométrica de cada ponto da bacia. Um gráfico com as curvas dos pontos pode ser visto na Figura 5.3. De acordo com a Figura nota-se que, para os pontos observados, os solos, de uma maneira geral, possuem distribuição granulométrica semelhantes podendo ser classificados predominantemente como arenosos.

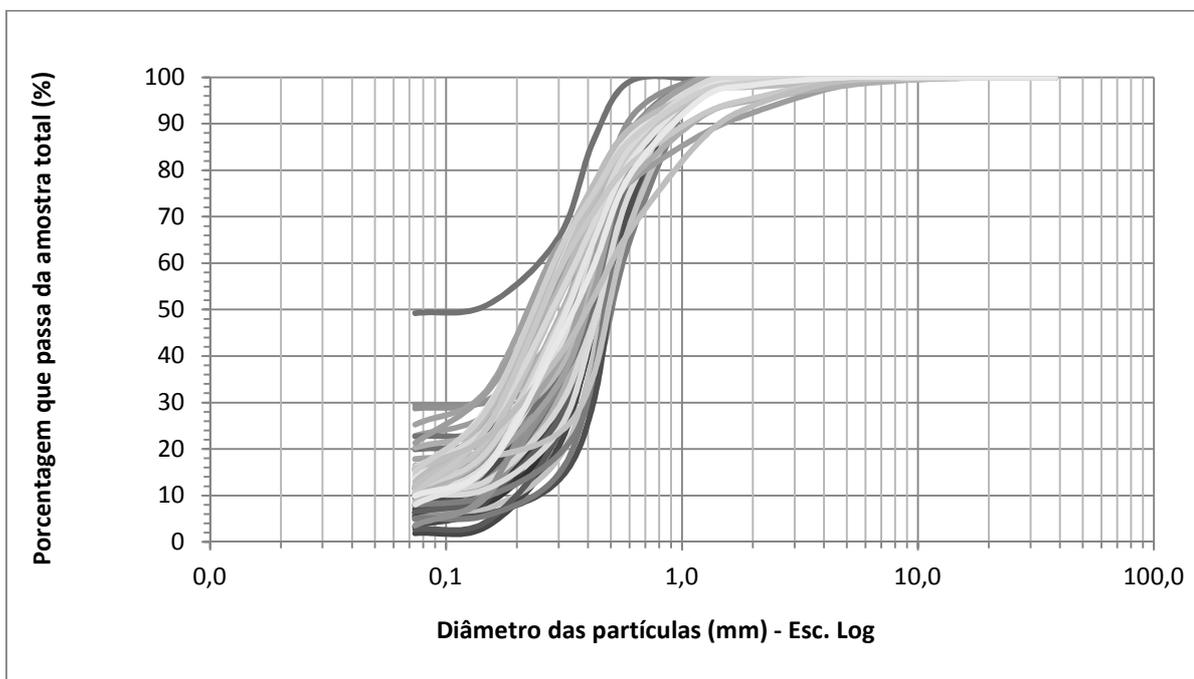


Figura 5.3 – Curvas granulométricas das amostras de solo da bacia experimental do Riacho Guaraíra

A Tabela 5.1 traz a classificação dos solos para cada um dos pontos estudados segundo o sistema de classificação da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Os resultados obtidos mostraram que 70,2% das amostras ensaiadas são classificadas na classe textural como Areia, 26,3% são classificados como Areia-franca e 3,5% são classificados como sendo Franco-arenosa.

Tabela 5.1 - Classe textural do solo para cada ponto estudado.

Pontos	Percentual de areia dos solos (%)	Classe textural dos solos	Pontos	Percentual de areia dos solos (%)	Classe textural dos solos
BG_008	90,57	Areia	BG_142	89,66	Areia
BG_026	93,16		BG_158	87,94	
BG_034	96,59		BG_161	90,07	
BG_035	94,40		BG_173	90,76	
BG_036	88,02		BG_174	85,31	
BG_043	92,18		BG_175	88,33	
BG_046	93,70		BG_176	88,29	
BG_053	94,50		BG_187	87,72	
BG_054	92,03		BG_188	91,15	
BG_055	92,75		BG_189	86,52	
BG_056	94,84		BG_196	88,37	
BG_057	94,24		BG_030	84,34	Areia Franca
BG_063	89,81		BG_037	76,56	
BG_064	93,05		BG_050	77,29	
BG_065	94,03		BG_126	83,57	
BG_066	94,01		BG_140	80,09	
BG_081	93,87		BG_141	84,18	
BG_084	97,30		BG_153	82,14	
BG_086	88,31		BG_157	74,52	
BG_087	92,89		BG_162	82,19	
BG_088	89,78	BG_166	83,95		
BG_096	85,81	BG_168	84,94	Franco Arenoso	
BG_097	93,67	BG_181	85,00		
BG_100	89,84	BG_192	83,80		
BG_104	92,06	BG_193	84,97		
BG_109	95,07	BG_195	83,57		
BG_113	88,76	BG_070	50,75		
BG_118	94,96	BG_143	71,29		
BG_135	96,45				

Sobrepondo os mapas das Figuras 3.3 (tipo de solo da bacia) e 4.1 (distribuição dos pontos na bacia) obtêm-se o tipo de solo (Podzólico Vermelho-Amarelo – PV3 ou Podzol Hidromórfico – HP) para cada ponto estudado. Essa classificação é apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Classificação quanto ao tipo de solo para os pontos estudados

Pontos	Tipo de solo						
BG_008	HP	BG_057	HP	BG_104	HP	BG_162	PV3
BG_026	HP	BG_063	HP	BG_109	HP	BG_166	PV3
BG_030	HP	BG_064	HP	BG_113	HP	BG_168	PV3
BG_034	HP	BG_065	HP	BG_118	HP	BG_173	PV3
BG_035	HP	BG_066	HP	BG_126	HP	BG_174	PV3
BG_036	HP	BG_070	HP	BG_135	HP	BG_175	PV3
BG_037	HP	BG_081	HP	BG_140	HP	BG_176	PV3
BG_043	HP	BG_084	HP	BG_141	PV3	BG_181	PV3
BG_046	HP	BG_086	HP	BG_142	PV3	BG_187	PV3
BG_050	HP	BG_087	HP	BG_143	PV3	BG_188	PV3
BG_053	HP	BG_088	HP	BG_153	PV3	BG_189	PV3
BG_054	HP	BG_096	HP	BG_157	HP	BG_192	PV3
BG_055	HP	BG_097	HP	BG_158	HP	BG_193	PV3
BG_056	HP	BG_100	HP	BG_161	HP	BG_195	PV3
						BG_196	PV3

5.1.2 Resultado dos parâmetros de forma

A Tabela 5.3 apresenta os parâmetros de forma das curvas de distribuição das partículas para os pontos estudados. De acordo com a tabela, observa-se que os parâmetros M e N e o produto MN apresentam valores maiores para os solos com frações arenosas mais altas enquanto que o diâmetro das partículas D_g apresentou, de uma maneira geral, comportamento inverso, exceto apenas para a Areia franca (HP).

Tabela 5.3 – Parâmetros de forma das curvas de distribuição das partículas

Classe textural dos solos	M	N	MN	D_g (μm)
Areia (HP)	0,477	3,881	1,881	525,18
Areia Franca (HP)	0,324	2,974	0,582	678,53
Franco Arenosa (HP)	0,177	2,429	0,429	547,44
Areia (PV3)	0,376	3,208	1,208	511,62
Areia Franca (PV3)	0,362	3,140	1,140	538,24
Franco Arenosa (PV3)	0,264	2,719	0,719	713,76

Souza *et al.* (2008) analisaram amostras de solos com diferentes classes texturais (areia, areia franca, franco argilo arenosa, franco argilosa e franco arenosa) e obtiveram para as classes areia, areia franca e franco arenosa respectivamente os valores de 0,35, 0,24 e 0,14 para M ; 2,32, 2,64 e 3,09 para N e 576,7, 556,7 e 715,9 μm para D_g .

Lassabatère *et al.* (2006), utilizando um procedimento semelhante, calcularam N e D_g para três diferentes classes de solos (solo siltoso, solo arenoso e um terceiro intermediário aos dois primeiros) e obtiveram para o solo arenoso os valores 3,48 para N e 779 μm para D_g .

Observa-se portanto, que os resultados obtidos para os parâmetros de forma neste estudo (Tabela 5.3) estão de acordo com os analisados por Souza *et al.* (2008) e Lassabatère *et al.* (2006) para solos com as mesmas classes texturais.

A Tabela 5.4 traz os parâmetros de forma funcionais de $h(\theta)$ e $K(\theta)$. Com relação ao tipo de solo, observa-se que os parâmetros de forma apresentaram valores bem parecidos para ambos os solos (HP e PV3), mostrando que estes solos possuem texturas semelhantes. Observando os valores médios dos parâmetros n e m referentes às classes de solo, igualmente aos parâmetros M e N , foram maiores para solos mais grossos, ou seja, com teor de areia mais alto. Esse resultado já era esperado por tratar-se também de fatores dependentes da textura do solo. Os parâmetros η e C_p aumentaram à medida que o solo tornou-se mais fino para o tipo HP. Já o parâmetro η , no solo PV3, registrou seu valor mais alto para a classe areia franca.

Tabela 5.4 – Parâmetros de forma funcionais de $h(\theta)$ e $K(\theta)$

Classe textural dos solos	m	n	η	C_p
Areia (HP)	2,882	0,301	5,502	1,753
Areia Franca (HP)	2,425	0,174	7,829	1,987
Franco Arenosa (HP)	2,192	0,088	1,340	2,346
Areia (PV3)	2,624	0,237	6,230	1,850
Areia Franca (PV3)	2,569	0,220	6,622	1,871
Franco Arenosa (PV3)	2,420	0,174	7,757	2,110

Souza *et al.* (2008) obtiveram valores de m iguais a 0,21, 0,13 e 0,07 e valores de n iguais a 2,54, 2,31 e 2,16 respectivamente para as classes texturais areia, areia franca e franco arenosa. Com relação aos valores de C_p , os autores obtiveram respectivamente para areia, areia franca e franco arenosa 1,88, 2,13 e 2,44. Para o parâmetro η , os valores obtidos pelos autores variaram de 6,70 para a classe areia, 9,54 para a areia franca e 15,67 para o solo da classe franco arenosa.

Comparando os valores dos parâmetros de forma funcionais de $h(\theta)$ e $K(\theta)$ encontrados por Souza *et al.* (2008) com os apresentados na Tabela 5.4, pode-se observar boa concordância entre os resultados exceto para o parâmetros η com relação a classe textural franco arenosa. Tal diferença pode ser atribuída à variação do percentual de areia grossa encontrada em ambos os solos.

5.1.3 Resultado dos parâmetros de normalização

Os parâmetros de normalização referentes aos valores médios dos pontos estudados, separados pelas classes texturais e pelo tipo de solo estão descritos na Tabela 5.5. Fazendo uma comparação entre as classes texturais dos solos, pode-se observar que os valores de S e K_s são ligeiramente maiores para os solos com menor teor de areia. Verifica-se também que os valores de S e K_s são maiores para o solo do tipo HP, mostrando que este solo é mais permeável que o solo do tipo PV3, para qualquer uma das classes texturais.

Ainda na Tabela 5.6 nota-se que tanto no solo do tipo PV3 quanto no HP o raio característico de poros hidraulicamente funcionais (λ_m) aumenta com o teor de areia. O aumento do raio dos poros que efetivamente transportam a água implicaria também no aumento de S e K_s . No entanto, observa-se um comportamento contrário. Isto é explicado devido ao fato que, apesar do tamanho dos poros ter aumentado com o teor de areia, a quantidade de poros hidraulicamente ativos por unidade de área pode diminuir. Além disso, apesar de tratar-se de classes texturais distintas, ainda assim a diferença entre os teores de areia das três classes é muito pequena, resultando em estruturas bastante semelhantes.

Os valores obtidos para λ_m (0,076 a 0,235 mm) estão de acordo com a faixa de valores obtida por Souza *et al.* (2008).

Tabela 5.5 – Parâmetros de normalização.

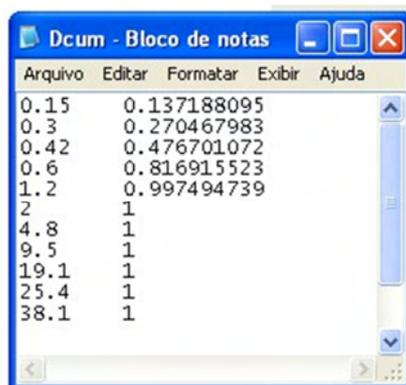
Classe textural dos solos	S ($mm\ s^{-1/2}$)	K_s ($mm\ s^{-1}$)	θ_s	h_g (mm)
Areia (HP)	1,480	0,127	0,347	-59,221
Areia Franca (HP)	1,837	0,240	0,410	-33,577
Franco Arenosa (HP)	2,178	0,399	0,509	-10,173
Areia (PV3)	1,024	0,058	0,315	-78,266
Areia Franca (PV3)	1,155	0,080	0,370	-60,637
Franco Arenosa (PV3)	1,569	0,075	0,530	-83,888

5.1.4 Determinação das curvas de condutividade hidráulica e de retenção de água no solo

Para determinar as curvas de condutividade hidráulica e de retenção de água no solo e a partir daí obter os valores de K_s (mm/h), foi utilizado o programa BEST (Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters Through Infiltration Experiments) desenvolvido por Lassabatère *et al.* (2006).

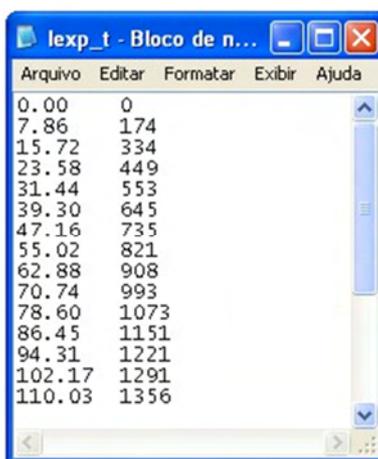
O programa BEST possui um procedimento de funcionamento bastante simplificado, onde inicialmente são criados três arquivos: o Dcum.txt, com os dados da granulometria, o lexp_t.txt onde estão os dados de infiltração, e o inputBESTw.txt com

os valores da densidade do solo e umidades inicial e final. Estes arquivos serão os arquivos de entrada de dados. As Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 exemplificam estes arquivos.



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
0.15	0.137188095			
0.3	0.270467983			
0.42	0.476701072			
0.6	0.816915523			
1.2	0.997494739			
2	1			
4.8	1			
9.5	1			
19.1	1			
25.4	1			
38.1	1			

Figura 5.4 – Arquivo de entrada dos dados do peneiramento



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
0.00	0			
7.86	174			
15.72	334			
23.58	449			
31.44	553			
39.30	645			
47.16	735			
55.02	821			
62.88	908			
70.74	993			
78.60	1073			
86.45	1151			
94.31	1221			
102.17	1291			
110.03	1356			

Figura 5.5 – Arquivo de entrada do tempo e lâmina d'água dos ensaios de infiltração



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
D:\BG_006				
1.985370				
2.65				
0.21589538				
0.250803649				
90				

Figura 5.6 – Dados de densidade, umidades inicial e final, utilizados pelo BEST

Foram geradas curvas de condutividade hidráulica e de retenção de água no solo para cada ponto de coleta. O método mostrou-se bastante robusto, porém não foram obtidas as curvas para alguns pontos, esse fato se deu provavelmente devido a falhas nas coletas em campo.

As Figuras 5.7 e 5.8 trazem, respectivamente, as curvas de condutividade hidráulica e de retenção de água geradas pelo BEST para os dois tipos de solo da

bacia estudada (Podzol Hidromórfico – HP e Podzólico Vermelho-Amarelo – PV3) e para as classes texturais (areia, areia franca e franco arenosa). Analisando os gráficos de condutividade hidráulica contidos na Figura 5.6, nota-se que, de uma maneira geral, todos os pontos possuem comportamento bastante parecido. Este resultado era esperado devido às características dos solos estudados, todos com grande percentual de areia e com classes texturais bastante semelhantes. De acordo com a figura 5.7, a taxa de condutividade sobe rapidamente enquanto o teor de umidade é baixo e tende a uma estabilidade à medida que o solo atinge o estado de saturação. Observa-se, no entanto, que a condutividade hidráulica é discretamente mais alta nos solos do tipo HP, formados por areia e areia franca, seguidos dos solos PV3, formados por areia e areia franca, e pouco mais baixa nos solos formados pela classe franco arenosa, tanto HP quanto PV3.

Com relação às curvas de retenção mostradas na figura 5.8, pode-se notar que os solos possuem como característica em comum uma elevada variação no teor de umidade e uma pequena capacidade de retenção. Percebe-se pela Figura 5.8 que para $h = 1$ m, as umidades dos solos HP e PV3 com textura areia e areia franca variam entre 0,30 e 0,34 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ aproximadamente, já para a textura franco arenosa, esse valor sobe para a faixa de 0,50 a 0,53 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, isso significa que a maior proximidade das partículas nos solos menos arenosos aumenta os efeitos de adsorção e capilaridade e, conseqüentemente, esses solos retêm maior quantidade de água.

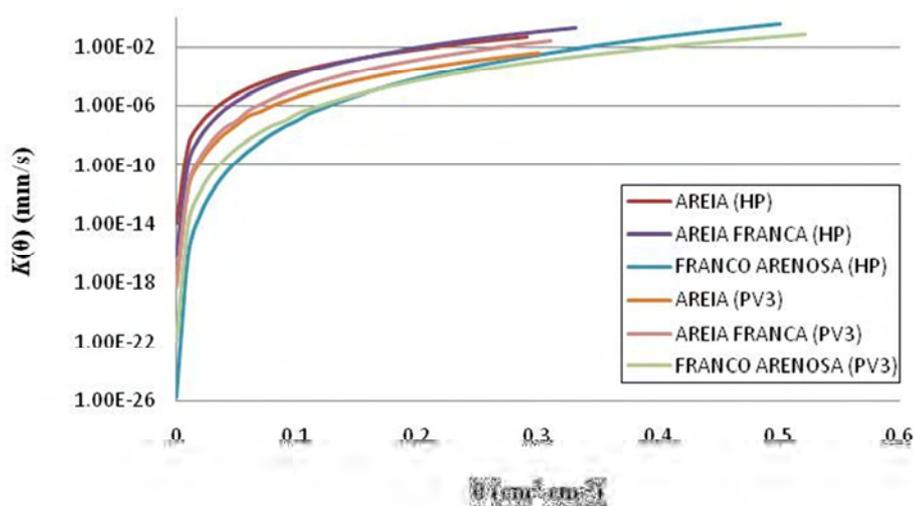


Figura 5.7 - Condutividade Hidráulica para alguns pontos de testes da bacia do Riacho Guaraíra

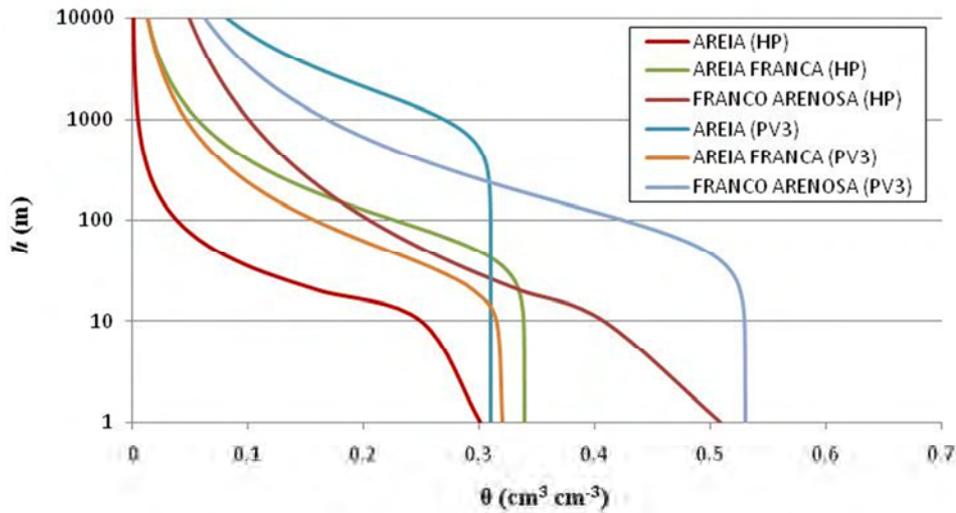
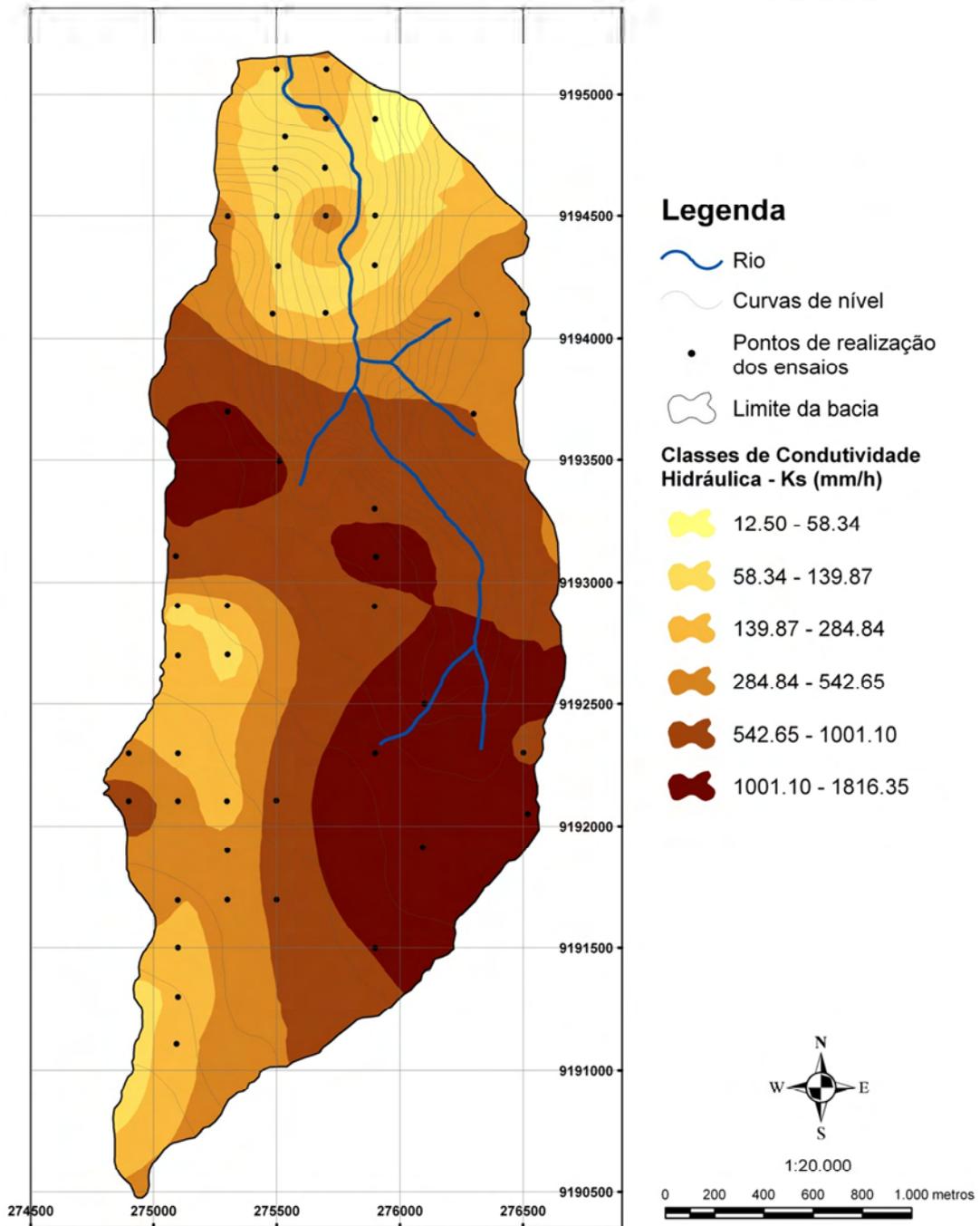


Figura 5.8 - Curvas de retenção de água no solo para alguns pontos de testes da bacia do Riacho Guaraíra

Souza et al. (2008) obtiveram comportamento semelhante para solos compostos por areia e areia franca. Segundo os autores, a areia e a areia franca, via de regra, apresentam menor capacidade de retenção de água sempre que se aproximam da saturação, além de baixa capacidade de retenção devido ao espaço poroso formado por uma grande quantidade de poros hidraulicamente funcionais diretamente relacionados com a distribuição do tamanho das partículas dessas classes texturais.

Posteriormente foram extraídos dos resultados do BEST, os valores de K_s , juntamente com os valores de porosidade para a bacia, para realizar a modelagem da vazão e erosão através do modelo Kineros2.

Os resultados de K_s podem ser visualizados no mapa 5.5, e os resultados para K_{step} , n , m , η , θ , S , K_s e h_g , em cada ponto selecionado estão no Apêndice 2.



Mapa 5.5 – Condutividade hidráulica na bacia do riacho Guaraira

Buscando a identificação das falhas ocorridas nessa etapa, foram realizados testes em uma praia na cidade de João Pessoa. A escolha desse local se deu pela homogeneidade do solo, sendo composto por areia. Os resultados desses testes são apresentados a seguir.

Os ensaios foram realizados de forma a comparar as variações que o método apresentaria mediante a alteração do volume de água utilizado, do número de vezes em que esse volume era vertido no anel e também qual seriam os resultados caso houvesse erros na coleta do material para determinação das umidades inicial e final, e da densidade do solo.

A Figura 5.9 apresenta a curva granulométrica para o solo onde foram realizados os ensaios, os resultados da granulometria apontaram que 76% da amostra é composta por areia fina ($0,074 \text{ mm} < d \leq 0,42 \text{ mm}$) e 24% é areia grossa ($0,42 \text{ mm} < d \leq 2 \text{ mm}$), sendo classificada pelo sistema de classificação dos solos da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo como Areia.

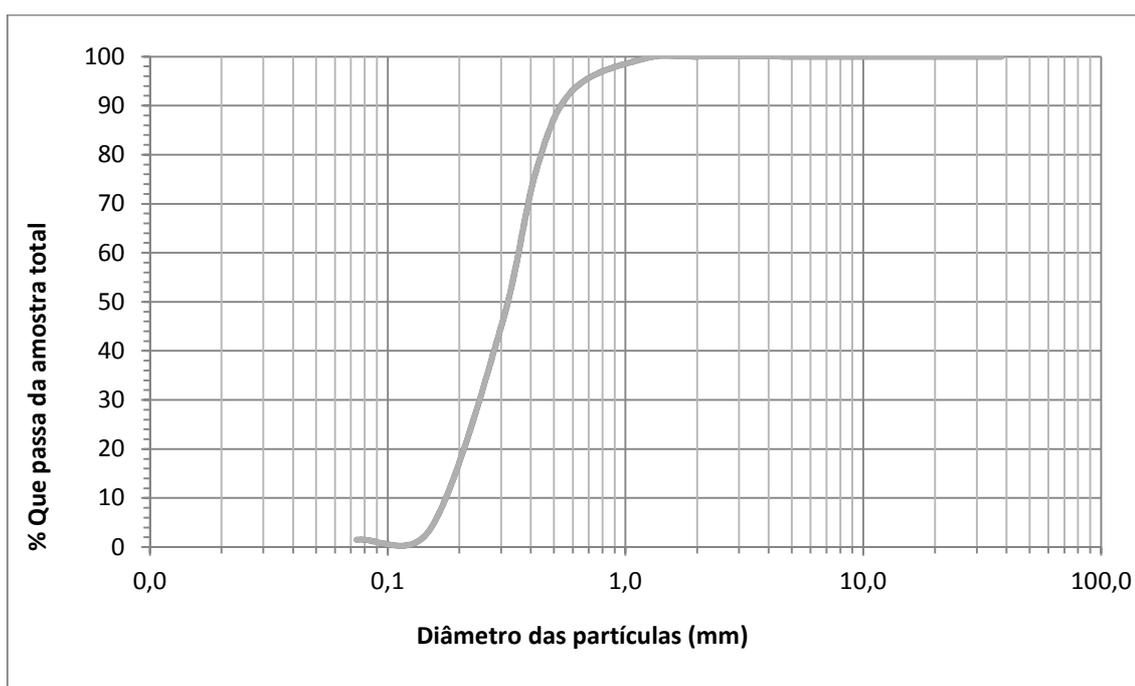


Figura 5.9 – Curva granulométrica da amostra de solo dos testes na praia.

Foram realizados seis testes de infiltração, onde foram alterados os volumes de água e o número de vezes em que esse volume era vertido no anel. Na Tabela 5.6 estão os volumes e a quantidade de repetições e a Figura 5.10 apresenta os resultados das curvas de infiltração para os testes realizados.

Tabela 5.6 – Volumes e repetições utilizados nos testes.

Teste	Volume (ml)	Repetições
Teste 1	1000	15
Teste 2	1000	20
Teste 3	1000	20
Teste 4	250	31
Teste 5	250	31
Teste 6	150	15

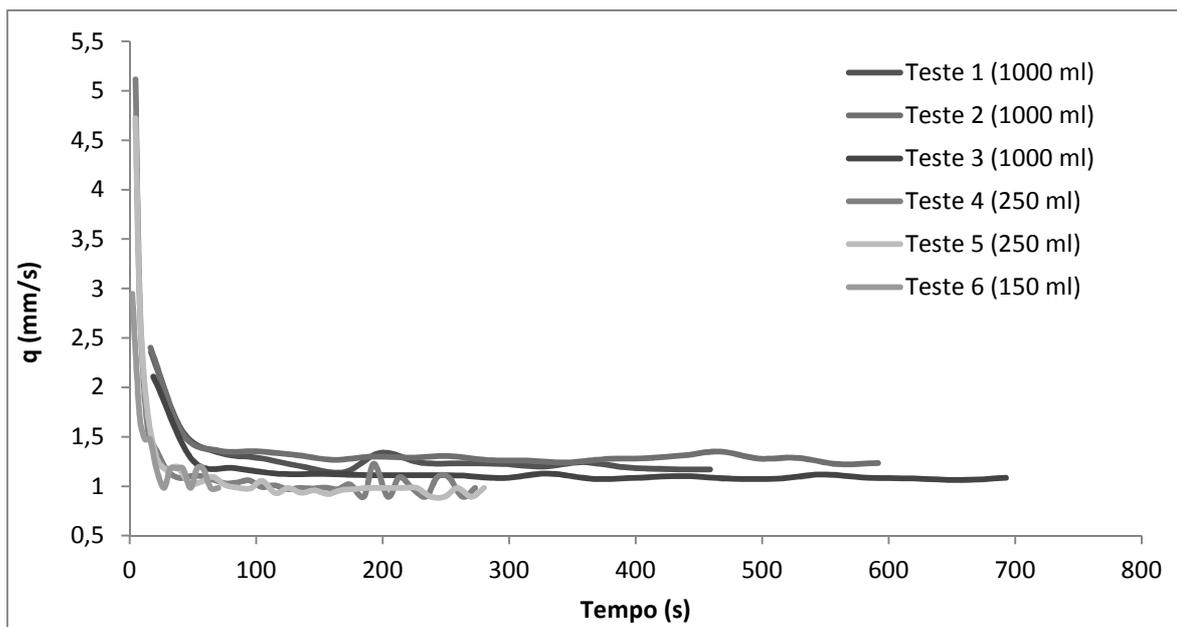


Figura 5.10 – Curvas de infiltração dos testes na praia.

As curvas da Figura 5.10 demonstram que nos testes onde foram utilizados 1000 ml de água, a quantidade de vezes em que o volume de água foi vertido não demonstra alterações nos valores. O que chama atenção é a sensibilidade do método à localização dos testes, cada um deles apresentava uma distância de aproximadamente um metro, fato comprovado também nos testes com o volume de 250 ml.

Esse teste demonstra também que a possibilidade de erro aumenta à medida que o volume utilizado diminui, como pode ser visto na curva dos testes 4 e 5, que utilizaram 250 ml de água e apresentaram diferenças significativas, e no teste 6, com um volume de 150 ml.

Após esta etapa, os testes seguiram para a determinação da condutividade hidráulica. Os resultados desta etapa estão na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Resultados do BEST para os testes.

Teste	kstep	n	m	η	θ_s	S	h_g	K_s (mm/s)	K_s (mm/h)
#1	15	3,4334	0,4175	4,3953	0,2069	4,5654	-353,3423	0,2035	732,7
#2	13	3,4415	0,4189	4,3875	0,2049	4,5282	-327,3297	0,2280	820,7
#3	15	3,4356	0,4179	4,3932	0,1548	3,6703	-436,2972	0,1549	557,6
#4	15	3,4415	0,4189	4,3875	0,2049	4,0488	-366,3785	0,1628	586,2
#5	16	3,4356	0,4179	4,3932	0,1548	3,9175	-566,6699	0,1358	489,0
#6	15	3,4334	0,4175	4,3953	0,2069	0,9292	-142,1632	0,0210	75,4

Os resultados apresentados na Tabela 5.7 comprovam a sensibilidade do método quando comparados os resultados de K_s (mm/h) para cada teste, ao tempo de infiltração diferenciado entre os mesmos devido ao deslocamento de um metro entre os pontos, nos Testes 1, 2 e 3, onde foram utilizados 1000 ml de água, a diferença entre os Testes 1 e 2 é aceitável, o que não acontece quando comparamos esses resultados aos do Teste 3. Essa diferença nos resultados aparece também quando comparados os resultados dos Testes 4 e 5.

Outro fator que demonstra alterações nos resultados é o volume de água utilizado, existe uma grande diferença quando se comparam os resultados de K_s (mm/h) para os testes onde foram utilizados 1000 ml e o teste com 150 ml.

Tentando ainda identificar as falhas, foram alterados os valores da densidade, umidade inicial e umidade final, que são parâmetros determinados em campo e utilizados na metodologia para determinar a condutividade hidráulica (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 – Resultados do BEST para as alterações de parâmetros para os testes.

	Densidade (g/cm ³)	Umidade Inicial (cm ³ /cm ³)	Umidade Final (cm ³ /cm ³)	K_s (mm/h)
Valor Observado	1,3980	0,0360	0,2049	820,7
Alterando Densidade	1,2980	0,0360	0,2049	820,7
	1,4980	0,0360	0,2049	820,7
Alterando Umidade Inicial	1,3980	0,0260	0,2049	869,0
	1,3980	0,0460	0,2049	774,6
Alterando Umidade Final	1,3980	0,0360	0,1049	249,2
	1,3980	0,0360	0,3049	1.298,2

Esses resultados demonstram que caso ocorram falhas na determinação da densidade do solo, não ocorrerão alterações na condutividade hidráulica, o que ocorre de forma contrária com as umidades inicial e final.

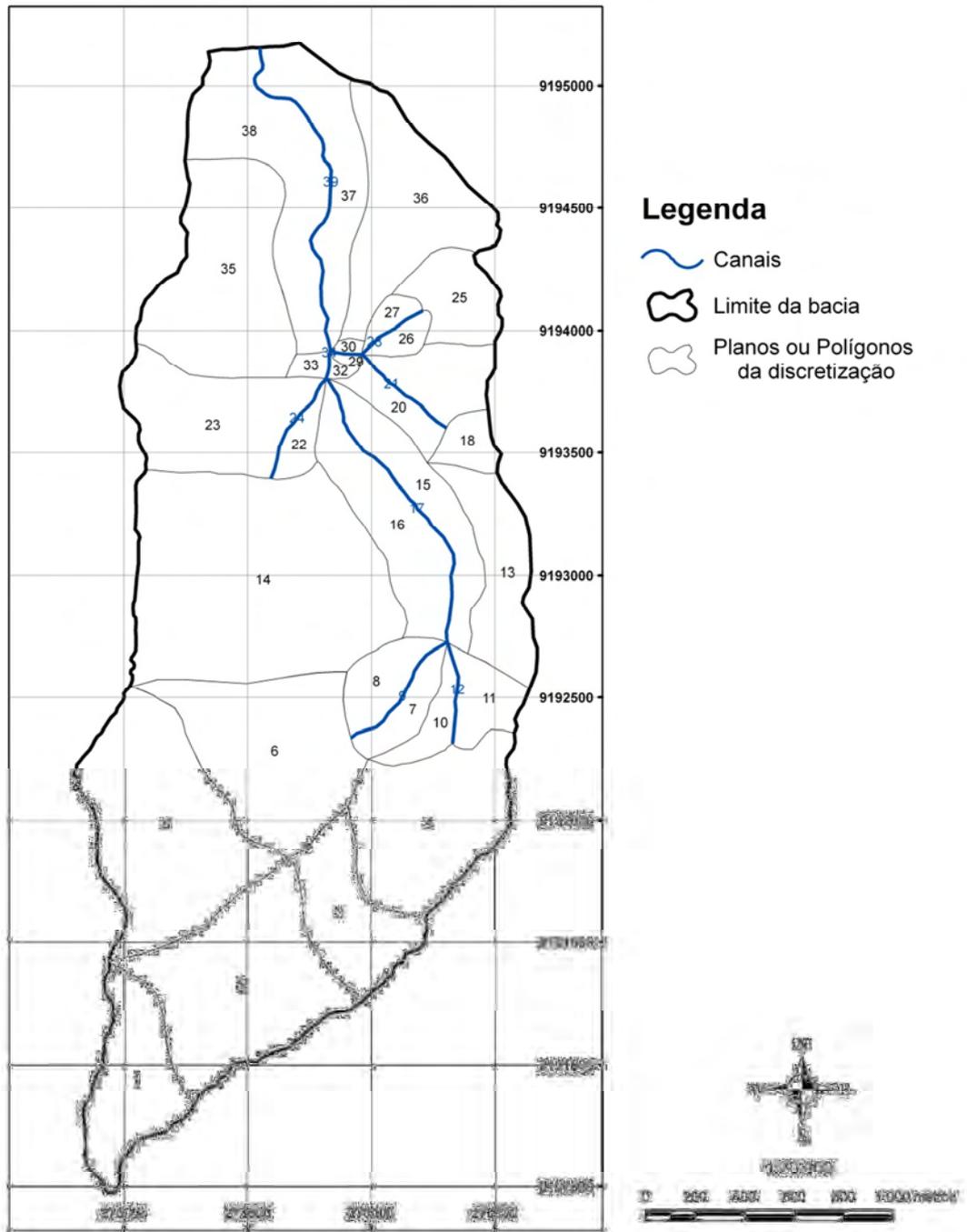
Sendo assim, a metodologia Beerkan apresenta uma sensibilidade a determinados parâmetros que devem ser melhores definidos em futuras pesquisas, devendo-se tomar bastante cuidado ao manusear e utilizar o material coletado em campo, afim de evitar possíveis falhas.

5.2 Aplicação do modelo Kineros2: resultados das simulações hidrológicas

A partir dos resultados de porosidade do solo na bacia experimental do Riacho Guaraíra e dos valores da condutividade hidráulica (K_s) obtidos através do método Beerkan, foram realizadas simulações hidrológicas, a fim de determinar a produção de sedimentos para a bacia.

Foram feitas duas simulações utilizando o modelo Kineros2, uma utilizando valores propostos por Silva et al. (2007b) e outra simulação utilizando os valores de campo.

Foram utilizados, nas duas simulações, dados diários observados de precipitação coletados em três postos da bacia experimental, sob responsabilidade do LARHENA – Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. Outros parâmetros, como o potencial de capilaridade, cobertura vegetal, declividade média dos planos e comprimento dos canais (Apêndices 3 e 4), foram obtidos através de mapas digitais da bacia, utilizando técnicas de cartografia digital e geoprocessamento.



Mapa 5.6 – Discretização da bacia em planos e canais

5.2.1 Simulação hidrológica a partir de dados de literatura

A dificuldade de obtenção de dados levou vários pesquisadores, como Aragão et al. (2008), Jurgens & Fander (1992), Santos & Zeilhofer (2005), e Silva (2005), a realizarem estudos de simulação hidrológica utilizando dados provenientes de outras pesquisas ou dados generalizados, a fim de obter resultados para seus estudos.

Os dados utilizados na presente simulação foram obtidos do trabalho de Silva et al. (2007b), que utilizaram dois modelos hidrológicos, o Kineros2 e a USLE (*Universal Soil Loss Equation*) para determinar a perda de solo na bacia experimental do Riacho Guaraíra. Os valores utilizados na simulação são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Parâmetros utilizados na simulação hidrológica (Silva et al., 2007)

Parâmetro		Camada Superior	Camada Inferior
Condutividade Hidráulica Saturada (mm/h)	K_s	2,2	1,8
Porosidade	ϕ	0,32	0,24

Os resultados para a simulação da estimativa da produção de sedimentos calculada a partir dos valores da Tabela 5.9 para o período de 2004 a 2009 são apresentados na Tabela 5.10. A Figura 5.11 apresenta os hidrogramas médios observados, calculados através do método de Thiessen para os anos de 2004 a maio de 2009, e a Figura 5.12 apresenta a produção total de sedimentos para cada ano estudado no exutório da bacia experimental.

Tabela 5.10 – Produção total calculada de sedimentos no exutório da bacia experimental

Ano	Precipitação Média (mm)	Produção de Sedimentos (ton/ha)
2004	1758,76	513,23
2005	1107,35	80,00
2006	1127,43	55,55
2007	1731,69	465,30
2008	1412,35	225,79
Mai de 2009	545,40	43,05

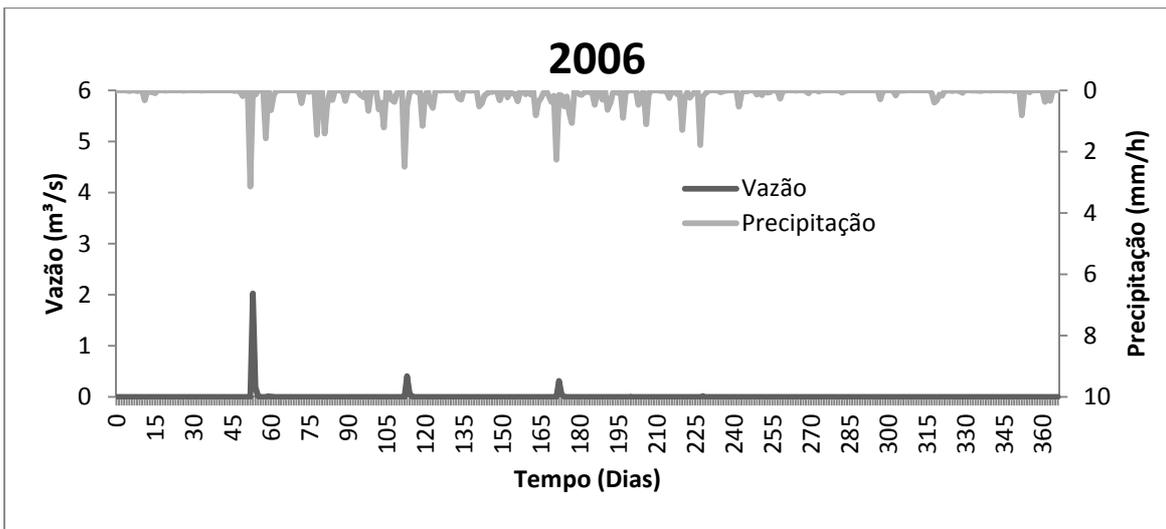
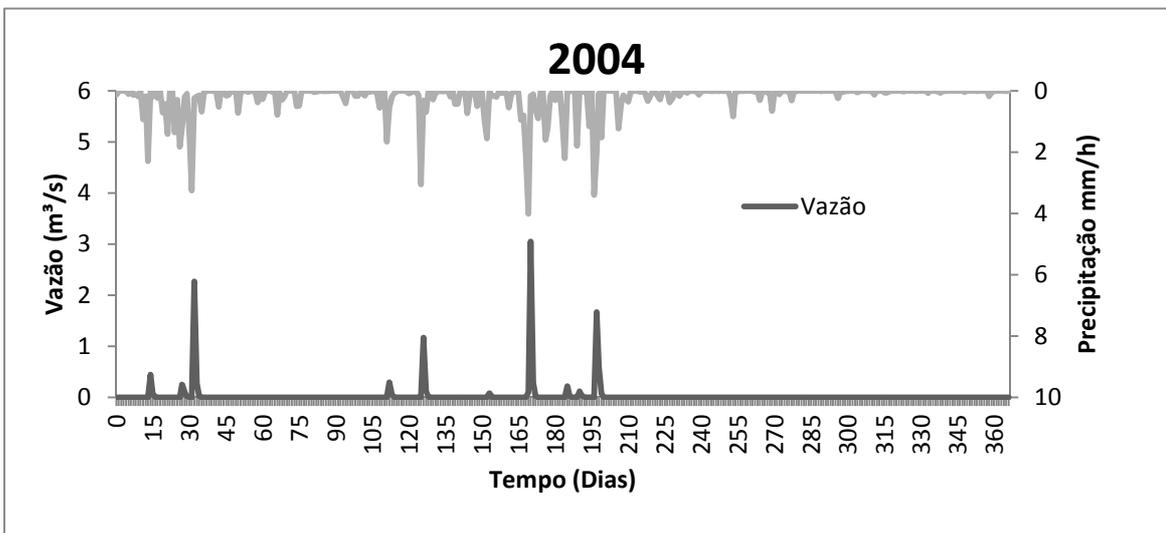
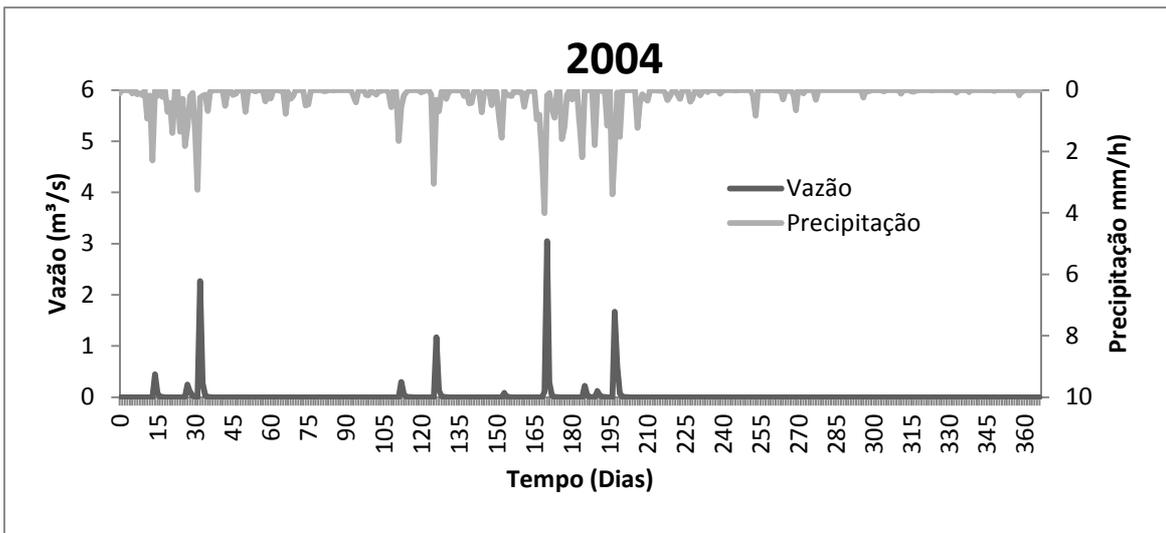


Figura 5.11 Hietogramas diários observados e hidrogramas calculados para bacia experimental do Riacho Guaráira (2004 a 2006).

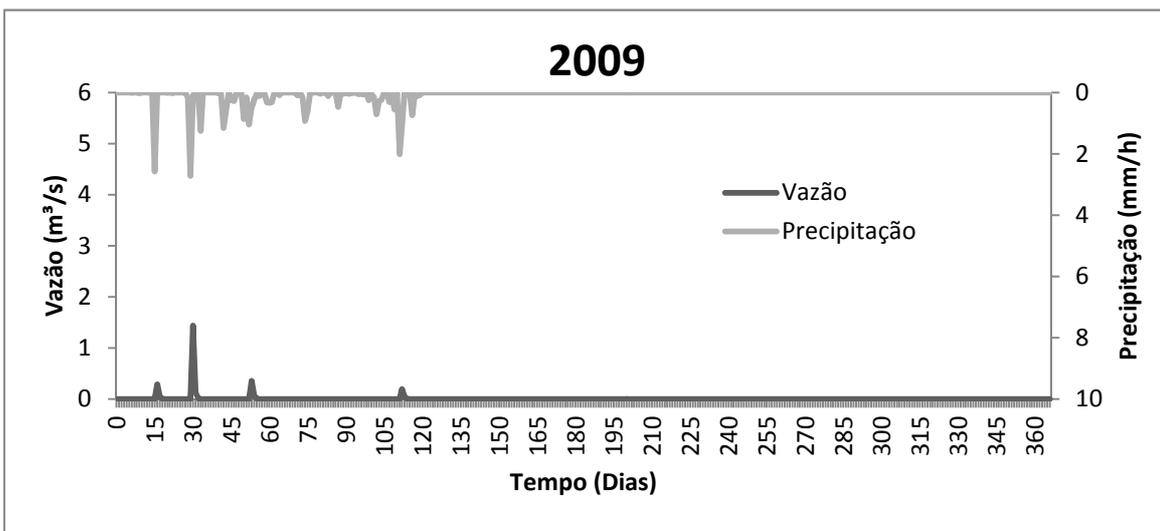
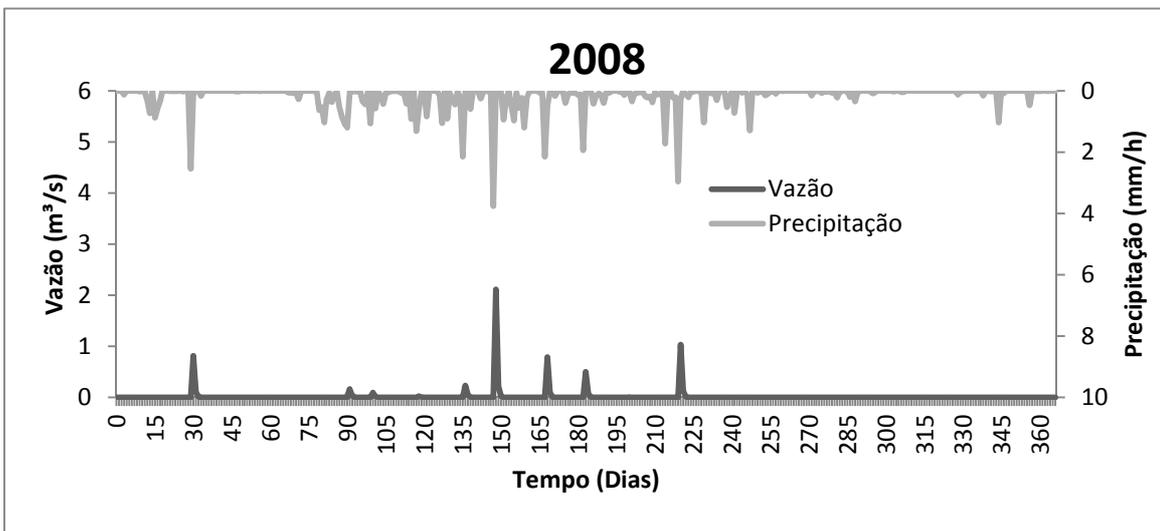
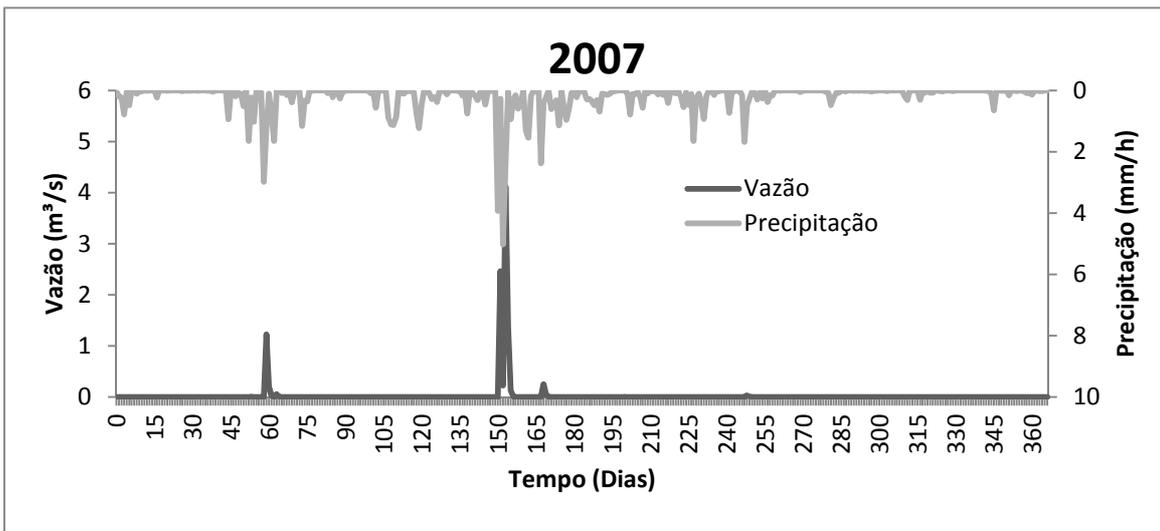


Figura 5.11 Continuação - Hietogramas diários observados e hidrogramas calculados para bacia experimental do Riacho Guaraíra (2007 a 2009).

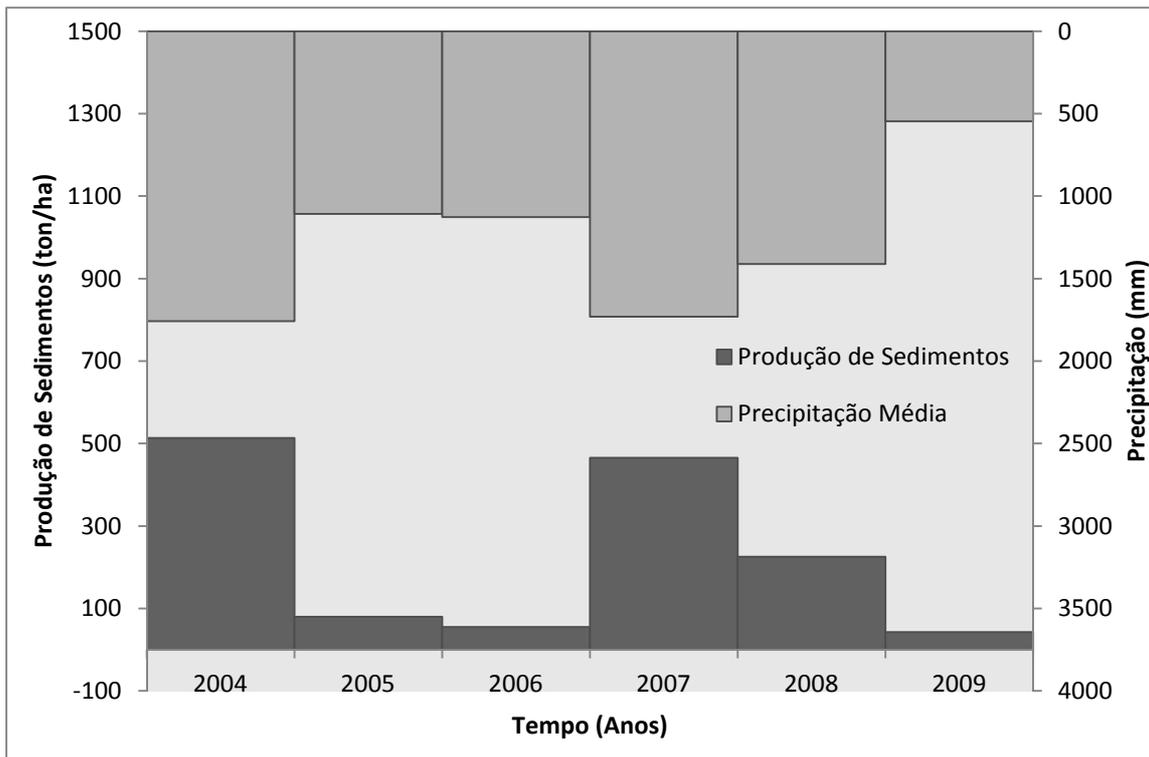
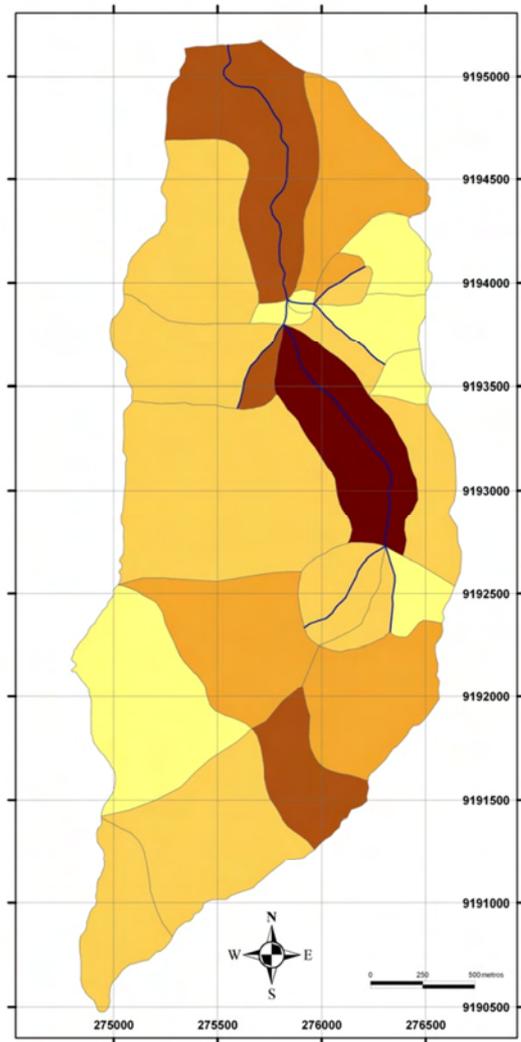


Figura 5.12 Produção de sedimentos total anual calculada da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

A Figura 5.13 apresenta os resultados especializados na área da bacia experimental da estimativa da produção de sedimentos calculada, para o período de 2004 a maio de 2009.

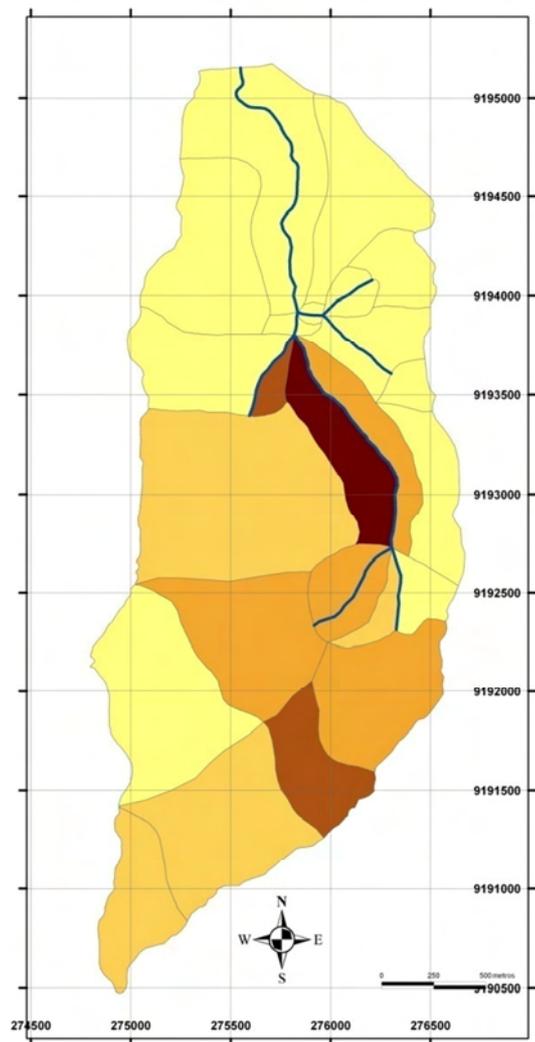
A - 2004



Produção de sedimentos (kg/ha)

0,0122 - 0,1425	0,6675 - 2,0048
0,1426 - 0,4062	2,0049 - 9,5850
0,4063 - 0,6674	

B - 2005

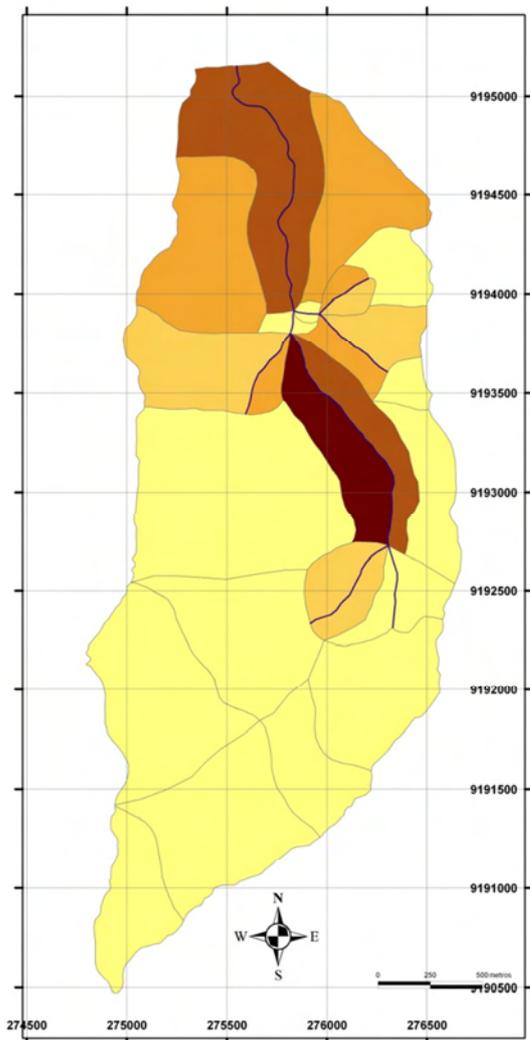


Produção de sedimentos (kg/ha)

0,0000 - 0,0152	0,1310 - 0,4436
0,0153 - 0,0585	0,4437 - 3,2146
0,0586 - 0,1309	

Figura 5.13 – Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental para os anos (A) 2004 e (B) 2005.

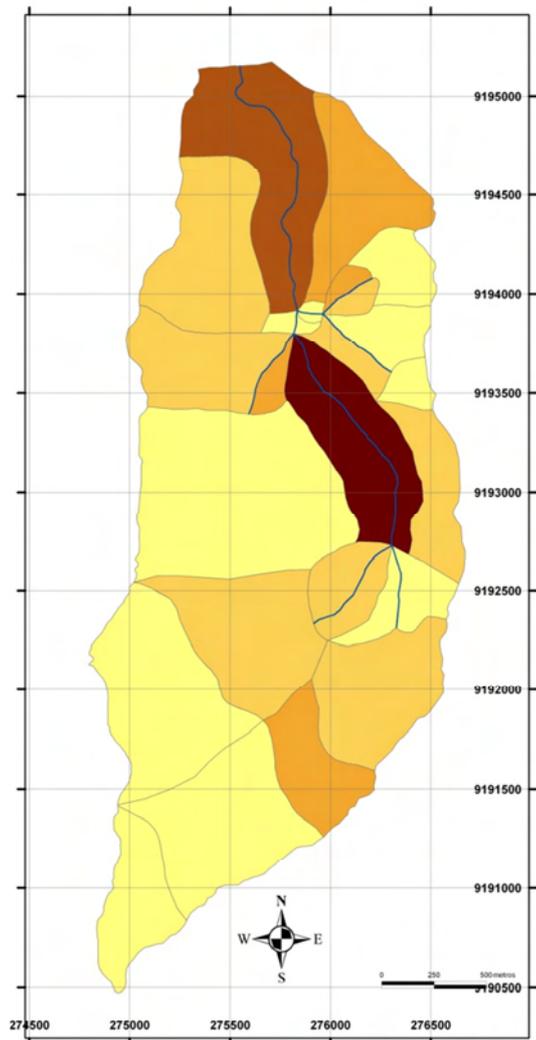
C - 2006



Produção de sedimentos (kg/ha)



D - 2007

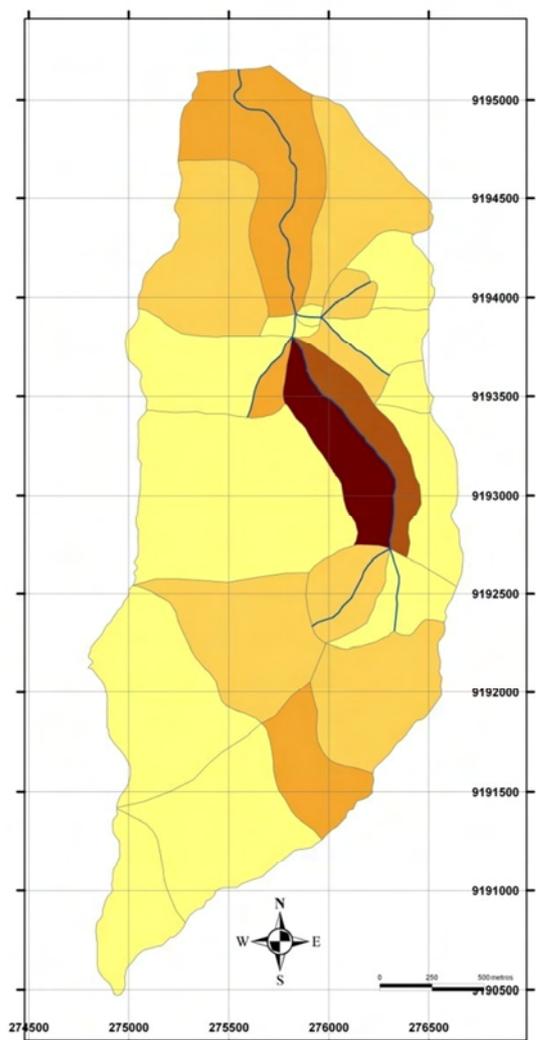


Produção de Sedimentos (kg/ha)



Figura 5.13 Continuação – Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental para os anos (C) 2006 e (D) 2007.

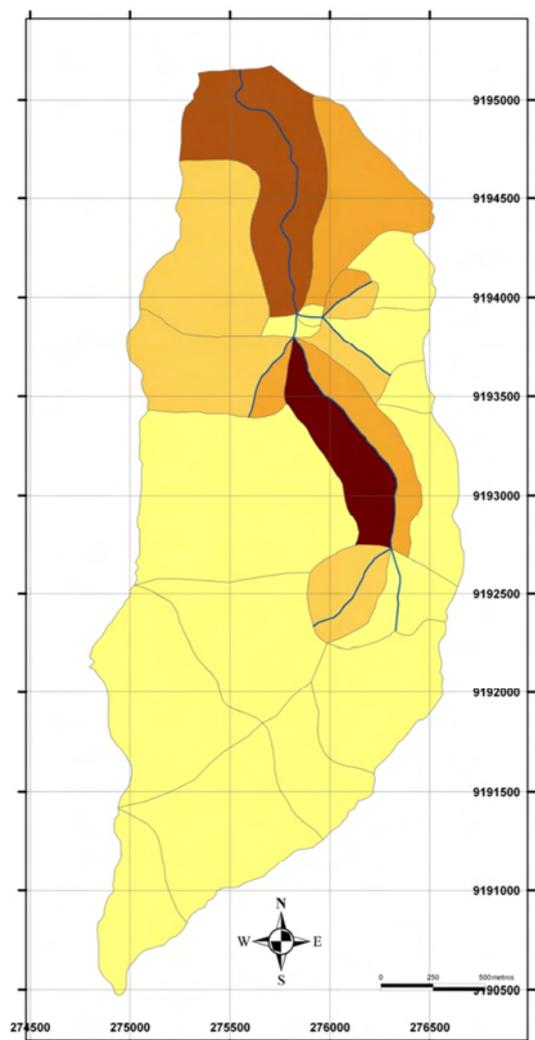
E - 2008



Produção de sedimentos (kg/ha)



F - 2009



Produção de sedimentos (kg/ha)



Figura 5.13 Continuação – Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental para os anos (E) 2008 e (F) maio de 2009.

5.2.2 Simulação hidrológica a partir de dados observados em campo

Devido à falta de dados que recobrissem toda a bacia, como havia sido planejado no início da pesquisa, a condutividade hidráulica foi determinada a partir da divisão da bacia em três áreas que apresentavam dados homogêneos.

A partir daí, foram assumidos os valores mínimos de condutividade hidráulica para cada área. O mesmo ocorreu com os dados de porosidade, estes dados não contêm falhas, mas optou-se por esta medida tendo em vista a adequação aos dados da condutividade hidráulica. Os valores utilizados para essa simulação são apresentados na tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Parâmetros observados utilizados na simulação hidrológica

Parâmetro		Camada Superior	Camada Inferior
Condutividade Hidráulica Saturada (mm/h)	K_s	12,50–47,29	2,5–37,29
Porosidade	ϕ	0,25–0,30	0,24–0,29

Os resultados para a simulação da estimativa da produção de sedimentos calculada a partir dos valores obtidos em campo, apresentados na tabela 5.11 para o período de 2004 a maio de 2009 são apresentados na Tabela 5.12. A Figura 5.14 apresenta os hidrogramas médios observados, calculados através do método de Thiessen para os anos de 2004 a maio de 2009, e a Figura 5.15 apresenta a produção total de sedimentos para cada ano estudado no exutório da bacia experimental.

Tabela 5.12 – Produção total calculada de sedimentos no exutório da bacia experimental

Ano	Precipitação Média (mm)	Produção de Sedimentos (ton/ha)
2004	1.812,47	125,09
2005	1.127,04	22,00
2006	1.145,94	56,94
2007	1.740,36	76,66
2008	1.499,00	28,06
Maio de 2009	604,27	5,19

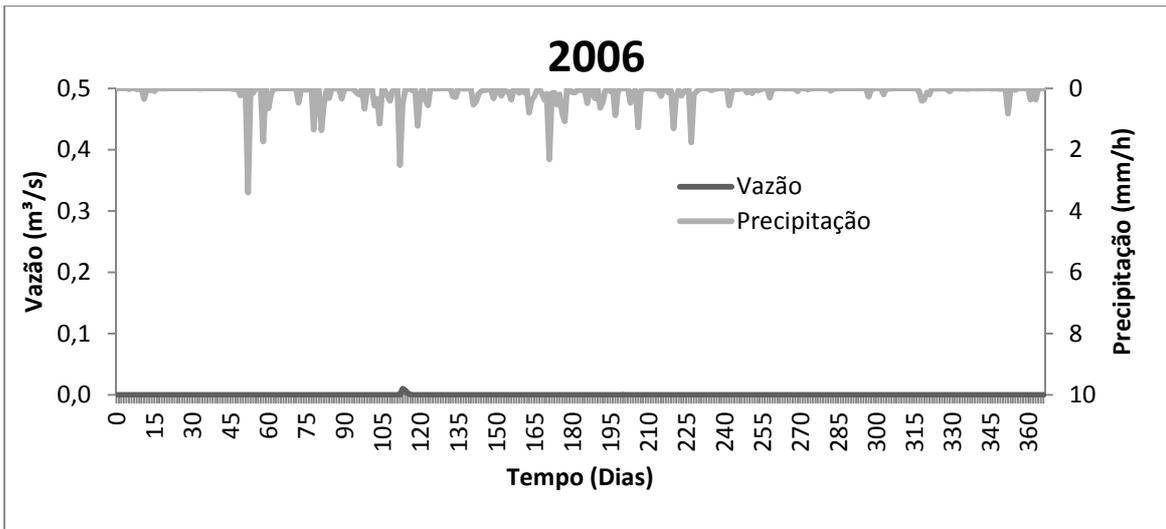
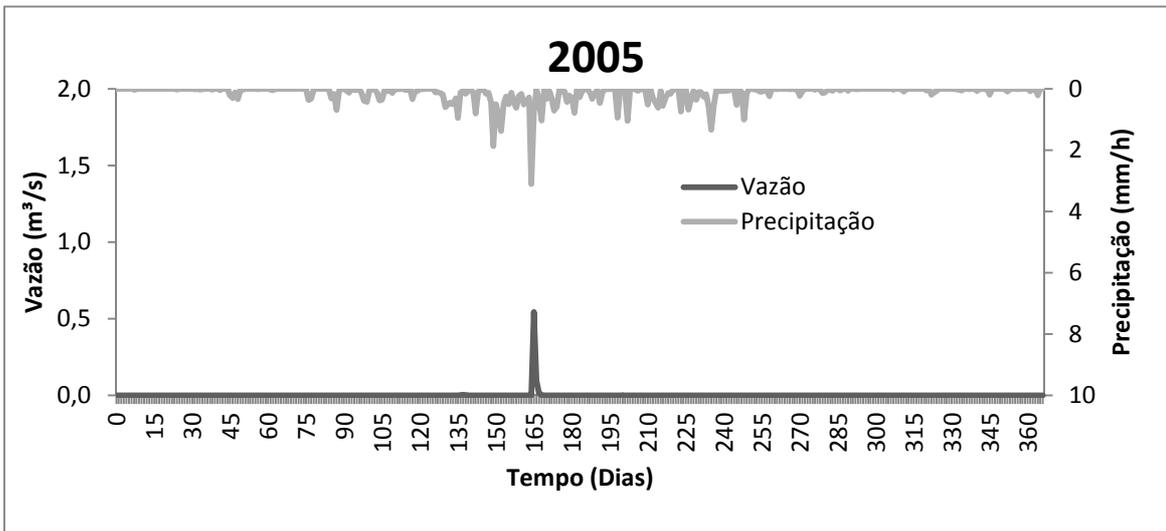
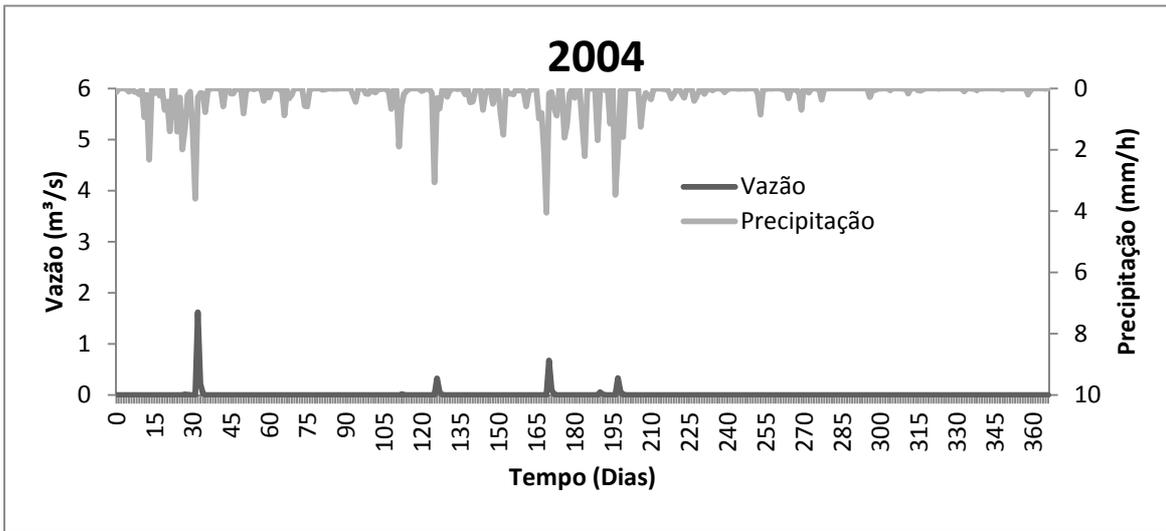


Figura 5.14 Hietogramas diários observados e hidrogramas calculados para a bacia experimental do Riacho Guaraira (2004 a 2006).

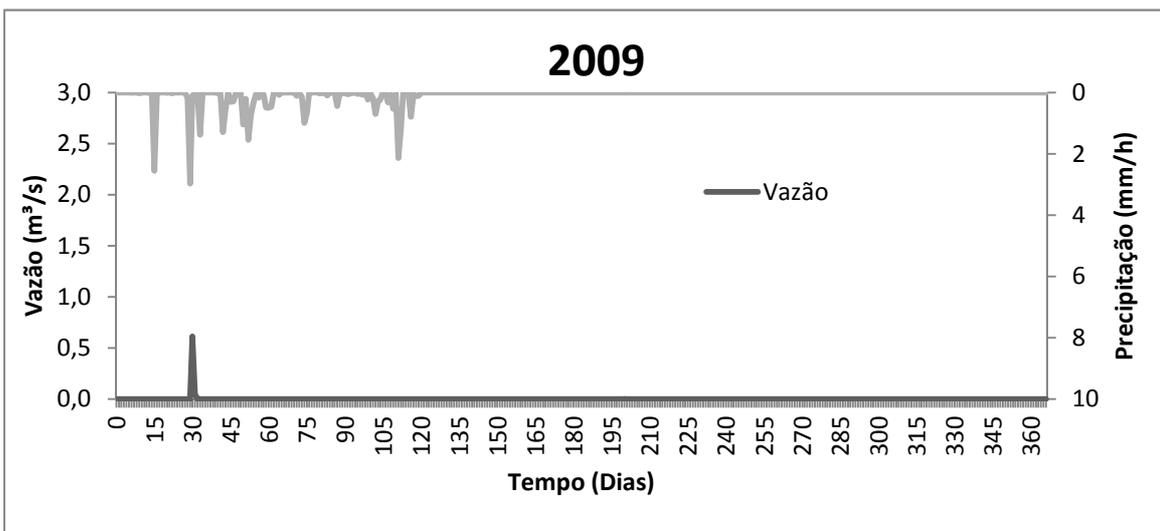
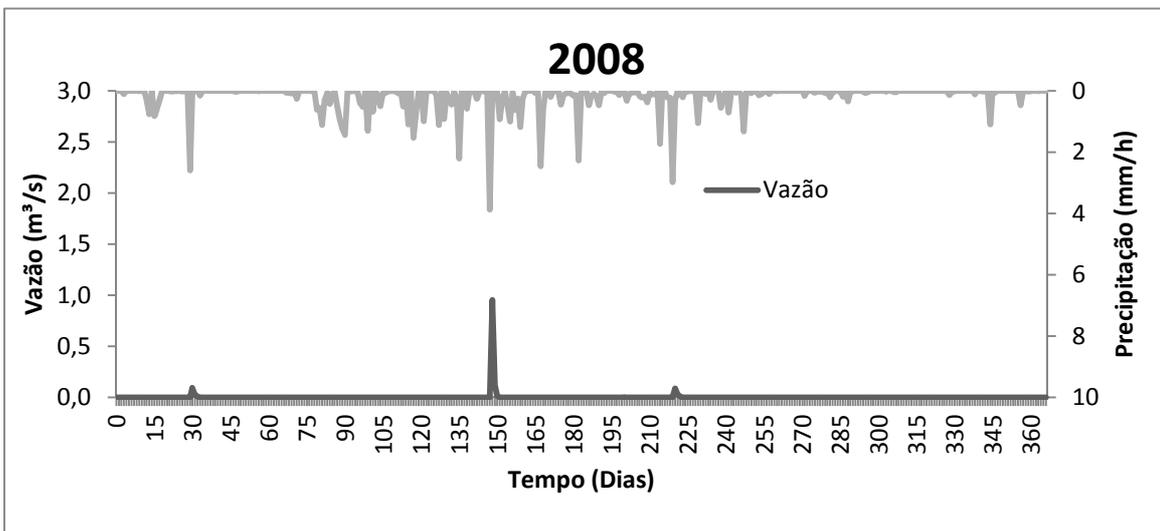
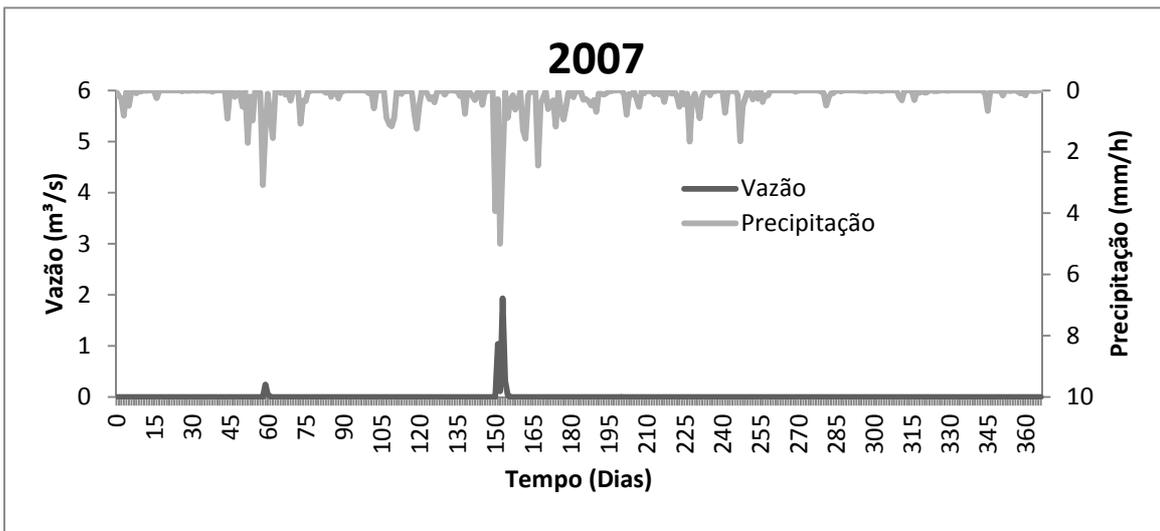


Figura 5.14 Continuação - Hietogramas diários observados e hidrogramas calculados para a bacia experimental do Riacho Guaraíra (2007 a maio de 2009).

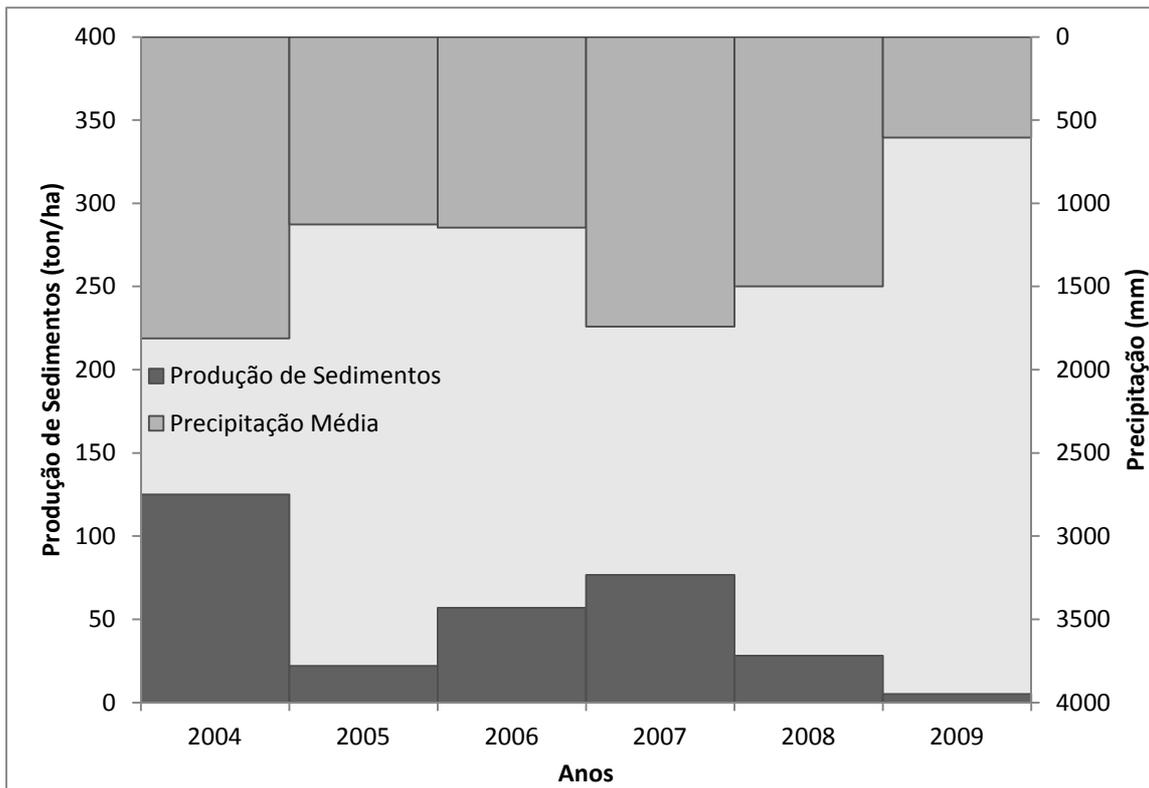
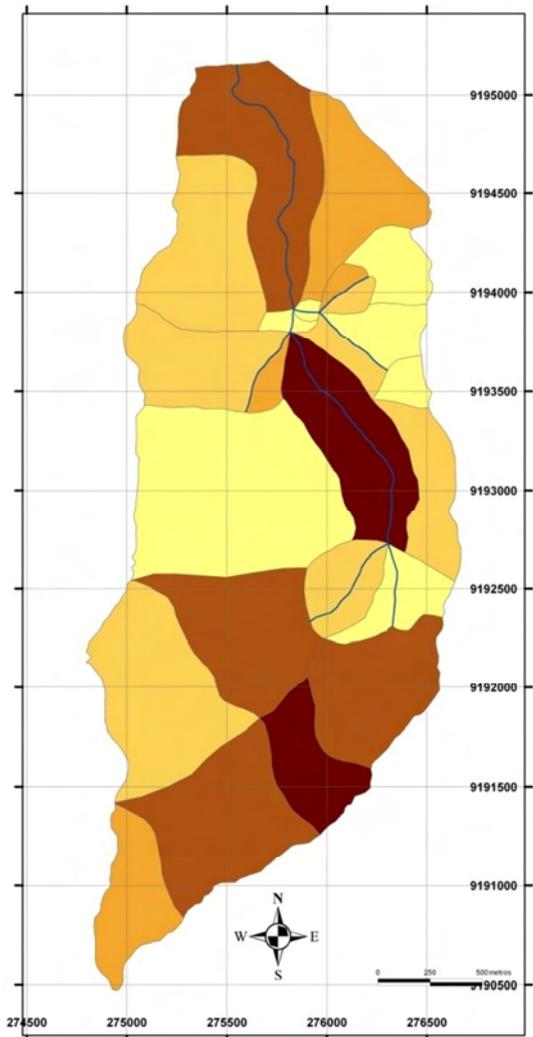


Figura 5.15 Produção de sedimentos total anual calculada da bacia experimental do Riacho Guaraíra.

Na Figura 5.16 são apresentados os resultados espacializados na área da bacia experimental da estimativa da produção de sedimentos calculada, para o período de 2004 a maio de 2009.

A - 2004



B - 2005

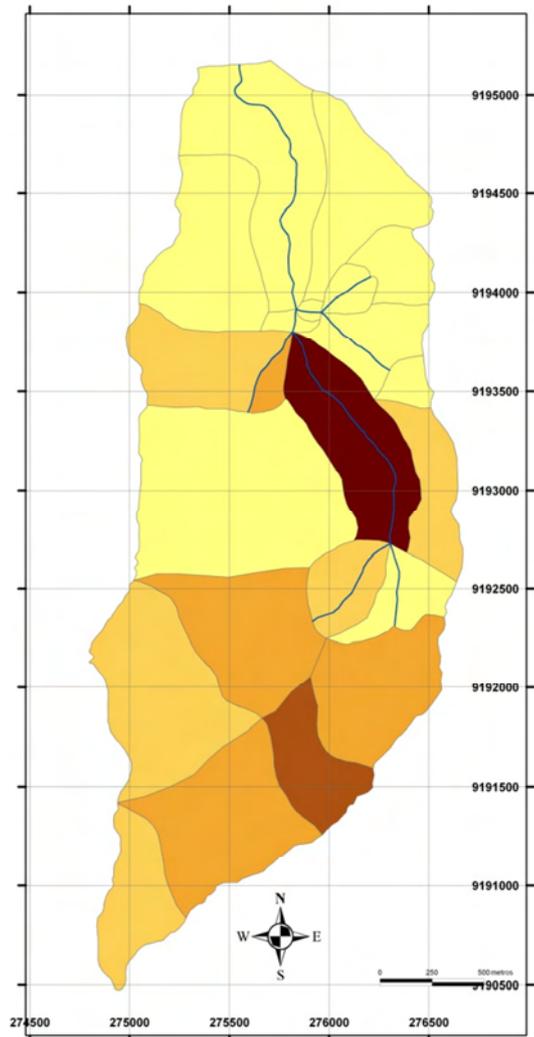
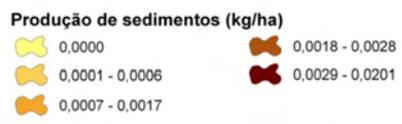
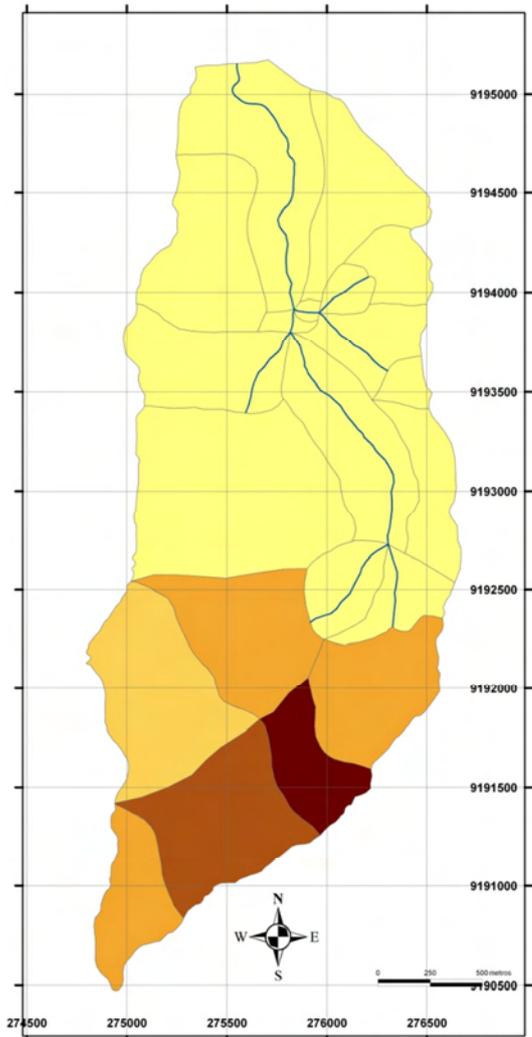


Figura 5.16 – Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental para os anos (A) 2004 e (b) 2005.

C - 2006



D - 2007

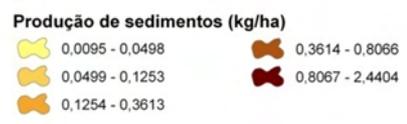
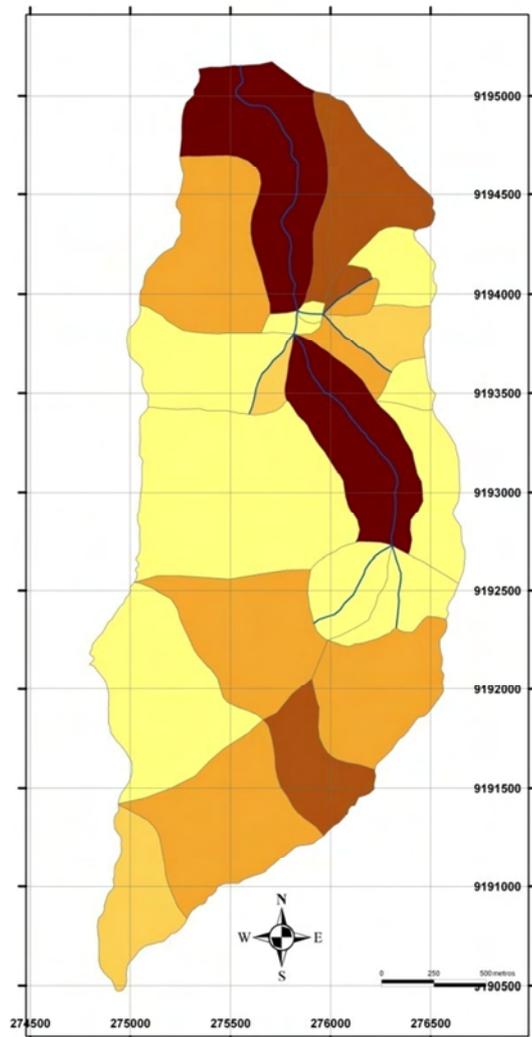
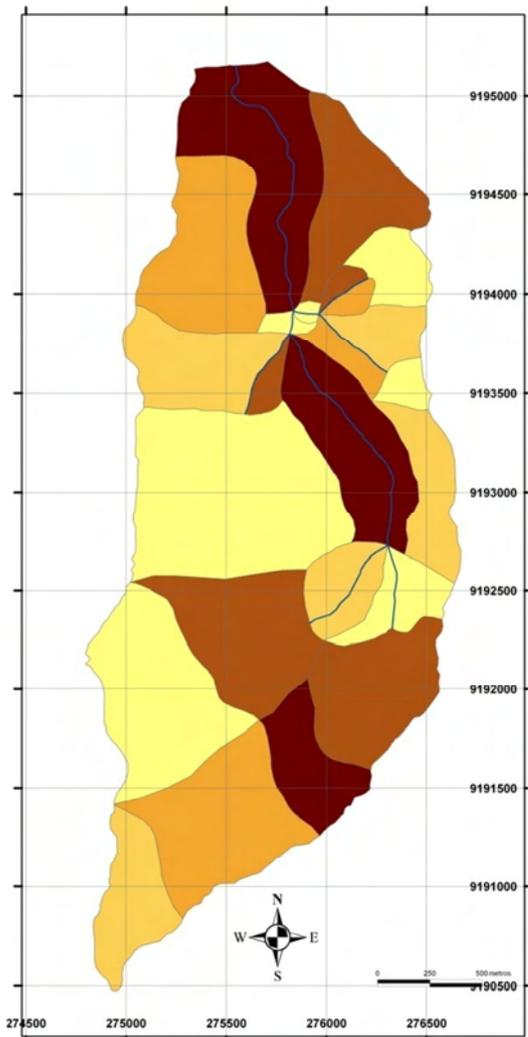


Figura 5.16 Continuação – Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental para os anos (C) 2006 e (D) 2007.

E - 2008



F - 2009

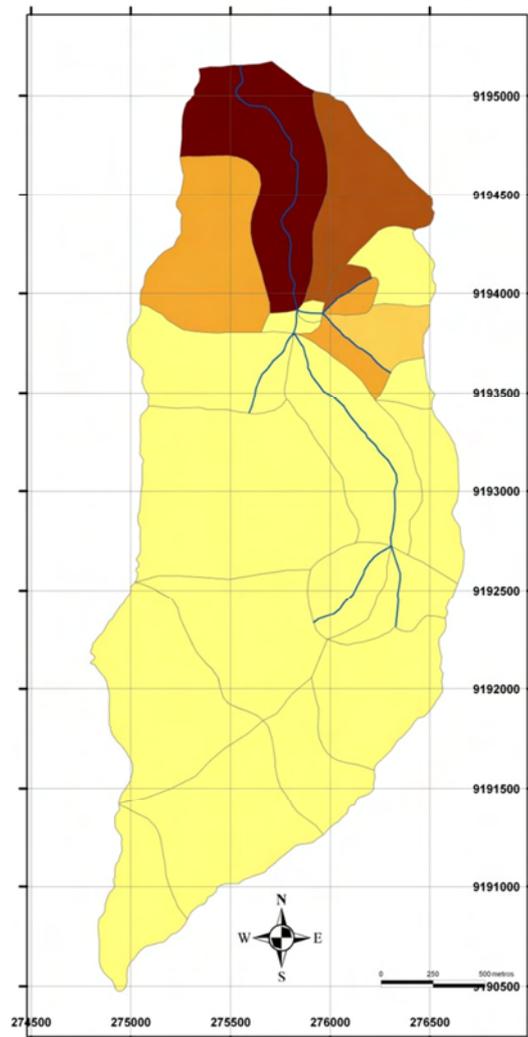


Figura 5.16 Continuação – Estimativa da produção de sedimentos para a bacia experimental para os anos (E) 2008 e (F) maio de 2009.

Comparando os resultados da simulação com os dados de literatura e com os dados observados, percebe-se que a produção de sedimentos na bacia é menor quando utilizados os dados observados. Provavelmente devido ao alto grau de permeabilidade observado em campo, o que reduz a quantidade escoada durante os eventos de chuva.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Baseado nos objetivos propostos neste trabalho, foi apresentado um estudo da ocupação do solo e da caracterização hidrodinâmica da bacia experimental do Riacho Guaraíra, obtida através da utilização de uma metodologia conhecida como Beerkan e simulações com modelo hidrossedimentológico Kineros2. Os resultados aqui obtidos poderão servir de suporte para eventuais estudos sobre o assunto. A seguir, serão apresentadas as principais conclusões extraídas da pesquisa.

6.1.1 Trabalho de campo

O levantamento de campo realizado através da subdivisão da bacia em 196 pontos foi de grande importância para o conhecimento detalhado do uso e ocupação do solo e para a realização do estudo de características, tais como porosidade, teor de umidade e densidade, exigidas para caracterização da área estudada. Além disso, pôde-se concluir, a partir dos testes de infiltração, que parte do solo da bacia apresenta o fenômeno de hidrorrepelência.

6.1.2 Método Beerkan

A utilização do método Beerkan, tanto para o estudo da condutividade hidráulica quanto da infiltração tridimensional dos solos da bacia, mostrou ser satisfatória. Os resultados obtidos apresentaram coerência com outros trabalhos da literatura que usaram a mesma metodologia.

Logo, para este estudo, pôde-se concluir que o método Beerkan apresentou-se como uma ferramenta promissora, robusta e de fácil aplicação, o que poderá ajudar a parametrização de modelos hidrológicos do tipo físicos e distribuídos para a modelagem hidrossedimentológica na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

Entretanto, algumas considerações podem ser feitas, pois se observou que a metodologia Beerkan apresenta uma alta sensibilidade às possíveis variações encontradas no campo, sendo necessárias pequenas modificações na forma em que o método é aplicado. Entre as considerações pode-se citar:

- 1) Testes realizados em áreas com um solo arenoso e homogêneo comprovaram que o volume de água utilizado nos ensaios de infiltração apresenta resultados diferenciados à medida em que o mesmo é alterado,
- 2) A quantidade de vezes em que o volume de água é vertido no anel de infiltração, assim como a forma como é vertido, também pode causar variações nos resultados finais.

6.1.3 Modelo hidrossedimentológico Kineros2

Com relação ao Kineros2 pôde-se concluir que o modelo mostrou ser também uma ferramenta útil e adequada para o estudo da produção de sedimentos na Bacia Experimental do Riacho Guaraíra.

As simulações hidrológicas realizadas a partir dos dados obtidos em campo apresentaram uma produção de sedimentos muito baixa quando comparada à produção de sedimentos obtida com dados de literatura. Fato este que deve ter ocorrido devido ao alto grau de permeabilidade observado nos ensaios de campo. Por ter um solo altamente permeável, poucos eventos chuvosos irão provocar escoamento e consequentemente produção de sedimentos.

6.2 Recomendações

Algumas recomendações podem ser sugeridas para futuros trabalhos com o intuito de expandir o conhecimento, tanto no tocante à bacia estudada quanto aos modelos utilizados. A seguir estão enumeradas algumas dessas recomendações.

- 1) Os ensaios de infiltração devem ser realizados utilizando-se um maior volume de água e de uma forma constante, principalmente para os solos mais arenosos, buscando dessa forma eliminar as perdas de tempo entre as recargas dos volumes de água e o revolvimento do solo,
- 2) Realização de três ensaios em cada ponto para se obter a média dos parâmetros ensaiados, e
- 3) Realização de testes convencionais de infiltração para comparação com os resultados do Beerkan,
- 4) Realização de coleta de dados de produção de sedimentos e vazão no exutório da bacia para calibração do modelo hidrossedimentológico.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: Análise granulométrica**. NBR 7181: método de ensaio / Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1984.
- ARAGÃO, Ricardo de ; FIGUEIREDO, Eduardo Eneas de ; SRINIVASAN, Vajapeyam Srirangachar ; DALTRO FILHO, J. . **Avaliação do processo hidrossedimentológico na bacia do rio Japarutuba-mirim através do modelo Kineros2**. In: IX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2008, SALVADOR. ANAIS DO IX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. PORTO ALEGRE : ABRH, v. 1. 2008.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 335p. 1990.
- BRAUD, I.; R. HAVERKAMP; J. L. ARRÚES; M. V. LOPÉZ. **Spatial variability of soil surface properties and consequences for the annual and monthly water balance of a semiarid environment (EFEDA Experiment)**. J. Hydrometeorol. 4:121-137. 2003.
- BROOKS, R. H. E COREY, A. T. **Hydraulic properties of porous media**. Hydrology Paper. Nº 3, Fort Collins: Colorado State University, 27p. 1964.
- BURDINE, N. T. **Relative permeability calculations from pore-size distribution data**. American Institute Mining and Metallurgy Engineering. V. 198,. p. 71-77. 1953.
- CARVALHO, J. B. Q. de. **Fundamentos da Mecânica dos solos**. 1ª Edição. Campina Grande, Paraíba. 310p. 1997.
- CORRADINI, C.; MELONE, F.; SMITH, R. E. **Modeling infiltration during complex rainfall sequences**. Water Resources Research, 30 (10), pp. 2777-2784. 1994.
- DE CONDAPPA, D.; SORIA UGALDE, J. M.; ÂNGULO-JARAMILLO, R. HAVERKAMP, R. Méthode Beerkan. **Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des soil non satures**. Repport interne Hydrologie de La Zone Non Saturés – LTHE.Grenoble: Université in soil science. 82p. 2002.
- ENGELUND, F. & HANSEN, E. **A monograph on sediment transport in alluvial streams**. Teknisk Forlag. Copenhagen, 62 p. 1967.
- FUENTES, C.; **Approche fractale des transferts hydriques dans les sols non-saturés**. Grenoble: Université Joseph Fourier, 444p. Tese Doutorado. 1992.
- FUENTES, C.; VAUCLIN, M; PARLANGE, J. Y.; HAVERCAMP, R. **Soil water conductivity of a fractal soil**. In: Baveye, P.; Parlange, J. Y.; Stewart, B. A. (eds). Fractals in soil science. V. 142, p. 325-335. 1998.
- FURTUNATO, O. M.; OLIVEIRA, L. M. M.; SOUZA, E. S. ; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, A. M. **Aplicação do método Beerkan e de funções de pedotransferência**

- para estimativa da condutividade hidráulica saturada na bacia experimental do riacho gameleira - PE.** IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador-BA, 2008.
- GALLE, S.; R. ANGULO JARAMILLO; I. BRAUD; S. BOUBKRAOUI; J. M. BOUCHEZ; D. de CONDAPPA; G. DERIVE; A. GOHOUNGSSOU; R. HAVERKAMP; P. REGGIANI; J. SORIA-UGALDES. 2001. P. 136. *In Estimation of soil hydrodynamic properties of the Donga watershed (CATCH- Bénin).* Proceedings of the GEWEX 4th International Conference, Paris. 10-14 sept. 2001. Institut Pierre Simon Laplace. 2001.
- GOLDENFUM, J. A. **Pequenas bacias hidrológicas: conceitos básicos.** In: PAIVA, J. B. D. de; PAIVA, E. M. C. D. de (orgs.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Reimpressão ver. Aum. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- GUERRA, A. J. T. **Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos.** Revista do Departamento de Geografia, v. 16, n. 32, p. 32-37. 2005.
- GUERRA, A. J. T. M. **Processos erosivos nas encostas.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.) Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap. 4, p. 149-210. 1998.
- HAVERKAMP, R.; ARRÚÉ, J.L.; VANDERVAERE, J.P.; BRAUD, I.; BOULET, G.; LAURENT, J.P.; TAHA, A.; ROSS, P.J.; ANGULO-JARAMILLO, R. **Hydrological and thermal behaviour of the vadose zone in the área of Barrax and Tomelloso (Spain): experimental study, analysis and modeling.** Final integrad report EFEDE II Spain, Project EU no EV%C – CT 92 00 90. Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement, BP 53, 38041 Grenoble Cédex 9, France. 1996.
- HAVERKAMP, R.; BOURAQUI, F.; ANGULO-JARAMILLO, R.; ZAMMIT, C.; DELLEUR, J.W. Soil properties and moisture movement in the unsaturated zone. In: DEULLEUR, J.W. (Ed.). **CRC Groundwater Engineering Handbook**, 120p. 1998.
- HAVERKAMP, R.; PARLANGE, J. Y. **Predicting the water retention curve from particle size distribution: I Sandy soils without organic matter.** Soil Science, v. 142, p. 325-335. 1986.
- HAVERKAMP, R.; ROSS, P.J.; SMETTEM, K. R. J. PARLANGE, J. -Y. **Three dimensional analisys of infiltration from the disc infiltrometer 2. Physically based infiltration equation.** Water Resources Research. v.30. pp. 2931-2935. 1994.
- HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.161-166, 1990.
- JURGENS, C.; FANDER, M. **Soil erosion assessment and simulation by means of satellite remote sensing and ancillary digital data.** GIS Journal, n. 4, p. 27–31, 1992.

- L. LASSABATÈRE, R. ANGULO-JARAMILLO, J. M. SORIA UGALDE, R. CUENCA, I. BRAUD AND R. HAVERKAMP, **Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters through infiltration experiments - BEST**. Soil Science Society of America Journal, 70: 521-532. 2006.
- LIMA, E. R. V.; KUX, H. J. H.; SAUSEN, T. M. **Sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de risco de erosão no sertão da Paraíba**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 16, n. 2, p. 257-264. 1992.
- LOPES, W. T. A. **Efeitos de escala na modelagem hidrossedimentológica na região semiárida da Paraíba**. Campina Grande: s.e., (Dissertação de Mestrado/PPGEC/CCT/UFCG). 2003.
- MACHADO, R. E. and VETTORAZZI, C. A. **Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP)**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, July/Aug. vol.27, no.4, p.735-741. ISSN 0100-0683. 2003.
- MAIDMENT, D. R. **Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS**. In: DOVAR, K.; NATCHNEBEL, H. P. (eds.) Application of geographic information systems in hydrology and water resources. Proceedings of the Vienna Conference, Vienna: Int. Assoc. of Hydrological Sci.; p. 181-192. 1993.
- MARQUARDT, D. W. **Na algorithm for least squares estimation of non linear parameters**. SIAM. Journal on Applied Mathematics, v. 11, p. 431-441. 1963.
- OGURA, A. T.; GOUVEIA, M. I. F.; RIDENTE JÚNIOR, J. L.; CANIL, K.; ALMEIDA FILHO, G. S. A. **Dinâmica dos processos de erosão e assoreamento e a gestão dos recursos hídricos**. Anais... XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória-ES, 1997.
- OLIVEIRA, L. C. K. **Papel do monitoramento e da previsão de vazões no gerenciamento de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro: /s. e./, Dissertação de Mestrado/PPGE/UFRJ. 2003.
- PAIVA, F. M. de L.; SILVA, R. M.; FURTUNATO, O. M.; MONTENEGRO, S. G.; SANTOS, C. A. G. **Modelagem hidrológica e estimativa preliminar da produção de sedimentos na bacia experimental Gameleira, Pernambuco**. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador-BA, 2008.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J. S.C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 63:1801-1810, 1999.
- PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Paraíba, 149 p. Tese de Doutorado. 1991.
- RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V., **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

- SAGHAFIAN, B.; VAN LIESHOUT, A. M.; RAJAEIL, H. M. **Distributed catchment simulation using a raster GIS**. Environmental Modelling and Software, vol. 2, issue 3-4, July, p. 199-203. 2000.
- SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; NITÃO, I. **Aplicação de um modelo hidrossedimentológico distribuído à bacia hidrográfica do rio Pirapama-PE**. Anais... XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba - PR, 2003.
- SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; LOPES, W. T. A. **Sediment yield in Ishite watershed using a runoff-erosion kinematic model**. XXIX IAHR Congress, Beijing, China, p. 146-151, 2001.
- SANTOS, I. M.; ZEILHOFER, P. . **Modelagem Hidrológica Integrada em Sistemas de Informação Geográfica**. Geodesia online, Florianópolis, v. 4, p. 1-16, 2005.
- SEMMENS, D. J.; MILLER, S. N.; HERNANDEZ, M.; BURNS, I. S.; MILLER, W. P.; GOODRICH, D. C. **Automated geospatial watershed assessment (AGWA) – a GIS-based hydrologic modeling tool: documentation and user manual**. USDA-ARS. Tucson, Arizona, 2000.
- SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima. 140p. 2003.
- SILVA, R. M., **Previsão hidrossedimentológica numa Bacia Periurbana através do acoplamento de modelos climatológicos e hidrológicos**. PPGEU /DEC/UFPB João Pessoa, Dissertação de Mestrado. 2005.
- SILVA, R. M.; SILVA, L. P.; SANTOS, C. A. G., **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na modelagem dos processos de vazão e de erosão na bacia do Riacho Guaraíra**, Anais – III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracajú, 2006.
- SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, J. F. C. B. C.; SILVA, L. P. **Avaliação espacial e temporal de perdas de solo usando o Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. OKARA: Geografia em debate, v. 1, p. 24-37, 2007.
- SILVA, R. M. da ; SANTOS, C. A. G. ; SILVA, L. P. e ; Silva, J. F. C. B. C. **Soil loss prediction in Guaraíra river experimental basin, Paraíba, Brazil based on two erosion simulation models**. Revista Ambiente & Água, v. 2, p. 19-33, 2007b.
- SMITH, R. E.; CORRADINI, C.; MELONE, F. **Modeling infiltration for multistorm runoff events**. Water Resources Research, 29 (1), pp. 133-144. 1993.
- SORIA, J.M.; LEIJ, F.J.; ANGULO-JARAMILLO, R.; FUENTES, C.; HAVERKAMP, R.; PARLANGE, J.-Y. **Aggregation scenarios to model water fluxes in watersheds with spatial changes in soil texture**. 23rd. Hydrology Days AGU. Proceedings... Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA. March 31-April 2, 2003.

- SOUZA, E. S. de; Antonino, A. C. D.; Angulo-Jaramillo, R.; Netto, A. M. **Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 12, n. 02, p. 128-135, 2008.
- SUDENE. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Recife: SUDENE. 359p. 1972.
- TODINI, E. **Rainfall-runoff modeling, past, present and future**. Journal of Hydrology. Amsterdam, n. 100, p. 341-352. 1988.
- TOEBES, C.; OURYVAEV, V. **Representative and experimental basins: an international guide for research and practice**. Haarlem: UNESCO, 1970. 348p.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Editora da UFRGS e ABRH, 650p. 1998.
- VAN GENUCHTEN, M. TH. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils**. Soil Science Society of American Journal. V. 44, p. 892-898. 1980.
- ZATARÁIN, F.; FUENTES, C.; HAVERKAMP, R.; ANTONIO, A. C. D. **Predicción de La forma de La característica de humedad del suelo a partir de La curva granulométrica**. In: Congresso nacional de Irrigação. Zacatecas. Resumos – Zacatecas: ANEI. Desarrollo y transferencia de tecnologia de Riego y drenage, v. 02, pp. 212-219. 2003.

APÊNDICE 1 – Valores de densidade ρ_d , porosidade ϕ , umidade inicial θ_0 , e umidade final θ_s do solo da bacia do Riacho Guaraíra

Ponto	Densidade ρ_d	Umidade Inicial θ_0	Umidade Final θ_s	Porosidade ϕ	Ponto	Densidade ρ_d	Umidade Inicial θ_0	Umidade Final θ_s	Porosidade ϕ
BG_001	1,4028	0,2105	0,0428	0,4706	BG_047	1,5438	0,3409	0,0289	0,4174
BG_002	1,4787	0,2879	0,0449	0,4420	BG_048	0,9934	0,3505	0,0254	0,6251
BG_003	1,4949	0,4359	0,0196	0,4359	BG_049	0,9166	0,6541	0,0748	0,6541
BG_004	1,3797	0,3585	0,0664	0,4794	BG_050	0,9404	0,6100	0,3590	0,6451
BG_005	1,5345	0,4011	0,0114	0,4209	BG_051	0,9188	0,3601	0,1302	0,6533
BG_006	1,9854	0,2508	0,2159	0,2508	BG_052	0,9104	0,3098	0,1110	0,6565
BG_007	1,4482	0,2778	0,0731	0,4535	BG_053	1,5955	0,3979	0,0040	0,3979
BG_008	1,4399	0,4566	0,0981	0,4566	BG_054	1,4829	0,3691	0,0007	0,4404
BG_009	1,3281	0,4160	0,0751	0,4988	BG_055	1,5023	0,4079	0,0064	0,4331
BG_010	1,3208	0,4397	0,0362	0,5016	BG_056	1,4384	0,2535	0,0071	0,4572
BG_011	1,0975	0,3337	0,0216	0,5858	BG_057	1,4761	0,3635	0,3304	0,4430
BG_012	0,9092	0,2585	0,0409	0,6569	BG_058	1,1808	0,2698	0,0261	0,5544
BG_013	1,1963	0,5486	0,0493	0,5486	BG_059	1,1603	0,3330	0,0175	0,5622
BG_014	0,9484	0,6421	0,0258	0,6421	BG_060	0,9642	0,2750	0,0885	0,6362
BG_015	0,9895	0,3385	0,0525	0,6266	BG_061	0,9083	0,3792	0,2656	0,6573
BG_016	1,2686	0,2892	0,0999	0,5213	BG_062	1,0966	0,4792	0,0897	0,5862
BG_017	1,3018	0,3504	0,0152	0,5088	BG_063	0,9189	0,6110	0,2312	0,6532
BG_018	1,4500	0,3858	0,0128	0,4528	BG_064	1,3792	0,2766	0,0062	0,4796
BG_019	1,3358	0,2991	0,0181	0,4959	BG_065	1,4653	0,3100	0,0053	0,4471
BG_020	1,1476	0,5649	0,5105	0,5670	BG_066	1,6634	0,3368	0,0039	0,3723
BG_021	1,2313	0,5354	0,5247	0,5354	BG_067	1,6947	0,2733	0,0103	0,3605
BG_022	0,9395	0,6455	0,1375	0,6455	BG_068	1,3450	0,3542	0,0103	0,4925
BG_023	0,9378	0,3742	0,0772	0,6461	BG_069	0,9168	0,6490	0,3968	0,6540
BG_024	1,1725	0,5085	0,0552	0,5575	BG_070	1,0616	0,5087	0,0109	0,5994
BG_025	1,3421	0,2014	0,0810	0,4935	BG_071	1,2366	0,4113	0,1629	0,5334
BG_026	1,3322	0,3003	0,0074	0,4973	BG_072	1,3027	0,4302	0,1014	0,5084
BG_027	1,5161	0,3369	0,0064	0,4279	BG_073	1,1202	0,2550	0,0493	0,5773
BG_028	1,0234	0,1169	0,0139	0,6138	BG_074	1,2940	0,3652	0,1633	0,5117
BG_029	0,9583	0,2164	0,1799	0,6384	BG_075	1,3751	0,4131	0,0088	0,4811
BG_030	1,0112	0,3385	0,0199	0,6184	BG_076	1,5041	0,4186	0,0061	0,4324
BG_031	0,9062	0,6447	0,0640	0,6580	BG_077	1,5909	0,3543	0,0280	0,3997
BG_032	1,4187	0,4037	0,0109	0,4647	BG_078	1,0685	0,2276	0,0132	0,5968
BG_033	0,9026	0,4006	0,1008	0,6594	BG_079	1,3412	0,2711	0,0025	0,4939
BG_034	1,3626	0,2612	0,0223	0,4858	BG_080	1,1455	0,2963	0,0332	0,5677
BG_035	1,7539	0,3382	0,0151	0,3382	BG_081	1,1775	0,3835	0,0945	0,5557
BG_036	1,4897	0,4379	0,0188	0,4379	BG_082	0,9043	0,5210	0,2415	0,6587
BG_037	1,6168	0,3899	0,0073	0,3899	BG_083	1,3659	0,3312	0,0448	0,4846
BG_038	0,9421	0,3946	0,1322	0,6445	BG_084	1,2888	0,4212	0,0746	0,5137
BG_039	1,1178	0,5782	0,0181	0,5782	BG_086	1,6242	0,3871	0,0145	0,3871
BG_040	1,3742	0,4815	0,1876	0,4815	BG_087	1,5850	0,3823	0,0227	0,4019
BG_041	1,1466	0,2329	0,0236	0,5673	BG_088	1,6098	0,2677	0,0399	0,3925
BG_042	1,0510	0,4577	0,2580	0,6034	BG_089	1,0794	0,0703	0,0372	0,5927
BG_043	1,6276	0,3858	0,0063	0,3858	BG_090	0,9030	0,6484	0,1132	0,6593
BG_044	1,5750	0,4057	0,0395	0,4057	BG_091	0,9033	0,6591	0,6580	0,6591
BG_045	1,4870	0,3620	0,0142	0,4389	BG_093	0,9047	0,4826	0,1403	0,6586
BG_046	1,5099	0,4181	0,0045	0,4302	BG_094	1,3248	0,3520	0,0343	0,5001

Ponto	Densidade ρ_d	Umidade Inicial θ_0	Umidade Final θ_s	Porosidade ϕ	Ponto	Densidade ρ_d	Umidade Inicial θ_0	Umidade Final θ_s	Porosidade ϕ
BG_095	1,8707	0,2890	0,1223	0,2941	BG_145	1,4941	0,2937	0,0144	0,4362
BG_096	1,5407	0,3760	0,1341	0,4186	BG_146	0,9034	0,3563	0,0899	0,6591
BG_097	1,4891	0,3014	0,1043	0,4381	BG_147	0,9063	0,3173	0,0642	0,6580
BG_098	0,9043	0,3086	0,0591	0,6587	BG_148	0,9069	0,5624	0,3272	0,6578
BG_099	0,9016	0,4511	0,1030	0,6598	BG_149	0,9879	0,2955	0,1231	0,6272
BG_100	1,3738	0,3743	0,0525	0,4816	BG_150	0,9059	0,2925	0,0670	0,6582
BG_101	1,4327	0,3454	0,0228	0,4593	BG_151	0,9087	0,2570	0,0951	0,6571
BG_102	1,7013	0,3447	0,3131	0,3580	BG_152	1,2329	0,0246	0,0244	0,5348
BG_103	1,2712	0,3682	0,0269	0,5203	BG_153	1,1062	0,4729	0,2716	0,5826
BG_104	1,1479	0,2455	0,0504	0,5668	BG_154	1,5223	0,3949	0,0089	0,4255
BG_105	1,5353	0,2586	0,0066	0,4206	BG_155	1,3520	0,2084	0,0055	0,4898
BG_106	1,5352	0,1307	0,0036	0,4207	BG_156	1,0864	0,1789	0,0233	0,5900
BG_107	0,9683	0,6314	0,2395	0,6346	BG_157	1,3894	0,3400	0,0258	0,4757
BG_108	0,9023	0,5184	0,4895	0,6595	BG_158	1,5017	0,3103	0,0681	0,4333
BG_109	1,7998	0,3178	0,0005	0,3208	BG_159	1,4786	0,3665	0,0400	0,4420
BG_112	1,4599	0,1736	0,0071	0,4491	BG_160	1,4824	0,4361	0,3377	0,4406
BG_113	1,3970	0,3767	0,2656	0,4728	BG_161	1,6568	0,3332	0,0459	0,3748
BG_114	1,6527	0,3728	0,0726	0,3764	BG_162	1,0573	0,3901	0,0225	0,6010
BG_115	1,3664	0,1696	0,0552	0,4844	BG_163	1,2754	0,3951	0,0982	0,5187
BG_116	0,9023	0,4692	0,4233	0,6595	BG_164	0,9078	0,3607	0,0425	0,6574
BG_117	0,9129	0,3816	0,0759	0,6555	BG_165	1,2534	0,2053	0,0142	0,5270
BG_118	1,2194	0,3351	0,0390	0,5398	BG_166	1,5028	0,3201	0,0382	0,4329
BG_120	0,9031	0,5891	0,1612	0,6592	BG_168	1,5617	0,4091	0,1125	0,4107
BG_121	1,5994	0,2011	0,0430	0,3965	BG_169	1,1564	0,5407	0,1110	0,5636
BG_122	1,4504	0,3288	0,0670	0,4527	BG_170	1,0312	0,4308	0,0532	0,6109
BG_123	1,5199	0,4243	0,0684	0,4264	BG_171	1,2758	0,1501	0,0388	0,5186
BG_124	1,5433	0,3803	0,0101	0,4176	BG_172	1,4333	0,3695	0,1250	0,4591
BG_125	0,9044	0,1755	0,0158	0,6587	BG_173	1,4704	0,3750	0,0814	0,4451
BG_126	0,9783	0,3966	0,2719	0,6308	BG_174	1,6196	0,3719	0,0956	0,3888
BG_127	0,9185	0,6297	0,1064	0,6534	BG_175	1,5733	0,2855	0,0570	0,4063
BG_128	0,9651	0,3046	0,0849	0,6358	BG_176	1,4451	0,3491	0,0308	0,4547
BG_130	0,9088	0,2114	0,1434	0,6571	BG_177	1,1043	0,4270	0,1197	0,5833
BG_131	0,9992	0,2754	0,0874	0,6229	BG_178	1,2162	0,3382	0,0596	0,5411
BG_132	1,2916	0,3097	0,1282	0,5126	BG_180	1,5778	0,3154	0,0560	0,4046
BG_133	1,0326	0,4550	0,1879	0,6104	BG_181	1,5809	0,2298	0,0357	0,4034
BG_134	1,4204	0,2898	0,0046	0,4640	BG_182	1,6277	0,2433	0,0720	0,3858
BG_135	1,4898	0,2606	0,0019	0,4378	BG_183	1,8473	0,2931	0,0517	0,3029
BG_136	0,9035	0,4120	0,0714	0,6591	BG_184	1,3188	0,3513	0,0366	0,5023
BG_137	1,1040	0,2937	0,2417	0,5834	BG_185	1,4209	0,3669	0,0353	0,4638
BG_138	1,1873	0,3227	0,1402	0,5520	BG_186	1,7143	0,3530	0,0520	0,3531
BG_139	1,3201	0,3078	0,0323	0,5018	BG_187	1,5429	0,3094	0,1123	0,4178
BG_140	0,9919	0,3903	0,1155	0,6257	BG_188	1,5011	0,2868	0,0729	0,4335
BG_141	0,9098	0,4202	0,0346	0,6567	BG_189	1,4790	0,2228	0,0602	0,4419
BG_142	1,5440	0,4113	0,2761	0,4174	BG_190	1,5285	0,4119	0,0296	0,4232
BG_143	1,1067	0,5304	0,3416	0,5824	BG_191	1,4236	0,3897	0,0695	0,4628
BG_144	1,0315	0,2328	0,0049	0,6107	BG_192	1,3507	0,2940	0,0266	0,4903

Ponto	Densidade ρ_d	Umidade Inicial θ_0	Umidade Final θ_s	Porosidade ϕ
BG_193	1,5740	0,3701	0,0549	0,4060
BG_194	1,4197	0,2529	0,0635	0,4643
BG_195	1,6174	0,3832	0,0438	0,3897
BG_196	1,6046	0,3201	0,0220	0,3945

APÊNDICE 2 – Resultados do método Beerkan para a bacia do Riacho Guaraíra

Ponto	kstep	<i>n</i>	<i>m</i>	η	θ	<i>S</i>	<i>K_s</i> (mm/s)	<i>hg</i>	<i>K_s</i> (mm/h)
BG_006	13	3,160	0,367	4,724	0,251	-0,262	0,132	-17,727	475,496
BG_007	21	3,323	0,398	4,512	0,278	1,562	0,013	-555,055	47,294
BG_008	21	2,905	0,312	5,209	0,457	2,383	0,070	-131,315	253,530
BG_016	21	2,971	0,327	5,060	0,289	1,028	0,027	-124,588	95,422
BG_017	13	2,913	0,313	5,190	0,350	0,437	0,044	-7,482	159,889
BG_026	13	2,891	0,308	5,245	0,300	0,742	0,056	-19,408	203,129
BG_030	9	2,528	0,209	6,789	0,339	2,739	0,285	-43,766	1024,820
BG_034	16	2,961	0,324	5,082	0,261	1,247	0,136	-28,187	489,164
BG_035	16	3,012	0,336	4,976	0,338	2,008	0,077	-95,685	278,283
BG_036	16	2,751	0,273	5,662	0,438	1,385	0,103	-25,242	369,584
BG_037	8	2,392	0,164	8,096	0,390	2,097	0,174	-32,729	627,542
BG_043	11	2,830	0,293	5,410	0,386	1,602	0,081	-47,905	292,677
BG_046	13	2,932	0,318	5,147	0,418	1,363	0,099	-26,538	357,418
BG_050	13	2,364	0,154	8,497	0,610	2,166	0,505	-18,280	1816,353
BG_053	13	2,795	0,284	5,515	0,398	2,417	0,166	-50,942	599,231
BG_054	5	2,789	0,283	5,536	0,369	1,638	0,189	-22,016	680,393
BG_055	13	2,753	0,273	5,658	0,408	1,088	0,131	-12,773	470,298
BG_056	16	2,917	0,314	5,181	0,253	0,976	0,024	-94,511	86,116
BG_057	12	3,047	0,344	4,910	0,363	0,970	0,202	-224,752	726,571
BG_063	13	2,620	0,237	6,225	0,611	1,817	0,380	-12,524	1369,179
BG_064	5	2,776	0,280	5,576	0,277	1,318	0,098	-37,398	352,333
BG_065	7	2,819	0,291	5,442	0,310	1,476	0,102	-40,400	366,098
BG_066	14	2,912	0,313	5,193	0,337	1,161	0,050	-46,949	181,449
BG_070	13	2,192	0,088	1,340	0,509	2,178	0,399	-10,173	1436,694
BG_073	13	3,302	0,394	4,536	0,255	1,479	0,250	-25,996	898,958
BG_075	9	2,782	0,281	5,556	0,413	1,162	0,050	-38,078	180,060
BG_081	16	3,542	0,435	4,297	0,383	2,117	0,387	-24,805	1392,247
BG_084	13	3,343	0,402	4,489	0,421	2,077	0,289	-26,337	1039,797
BG_086	16	2,714	0,263	5,803	0,387	0,947	0,020	-66,884	72,661
BG_087	6	2,796	0,285	5,512	0,382	1,228	0,105	-22,885	377,526
BG_088	16	2,749	0,272	5,670	0,268	0,656	0,011	-99,570	38,622
BG_096	16	2,558	0,218	6,585	0,376	0,724	0,013	-91,791	45,469
BG_097	13	2,951	0,322	5,102	0,301	1,328	0,059	-88,865	213,883
BG_100	9	2,924	0,316	5,164	0,374	1,645	0,210	-23,393	757,550
BG_104	13	2,908	0,312	5,203	0,246	1,579	0,269	-27,775	967,517
BG_109	16	3,214	0,378	4,648	0,318	2,006	0,373	-20,594	1342,185
BG_113	10	2,757	0,274	5,643	0,377	1,383	0,106	-107,077	381,456
BG_118	16	3,492	0,427	4,340	0,335	2,365	0,240	-48,454	864,395
BG_126	16	2,500	0,200	6,997	0,397	1,596	0,283	-40,672	1018,878
BG_135	16	2,958	0,324	5,087	0,261	2,202	0,299	-36,919	1075,954
BG_140	13	2,420	0,174	7,757	0,390	1,310	0,154	-20,448	553,753
BG_141	13	2,511	0,204	6,913	0,420	0,938	0,076	-15,878	271,971
BG_142	7	2,914	0,314	5,188	0,411	1,809	0,241	-67,225	867,101

Ponto	kstep	<i>n</i>	<i>m</i>	η	θ	<i>S</i>	<i>K_s</i> (mm/s)	<i>hg</i>	<i>K_s</i> (mm/h)
BG_143	16	2,318	0,137	9,295	0,530	1,569	0,075	-83,888	269,588
BG_153	16	2,578	0,224	6,458	0,473	1,841	0,045	-208,649	161,162
BG_157	16	2,343	0,146	8,837	0,340	1,117	0,042	-45,565	151,192
BG_158	16	2,640	0,242	6,126	0,310	0,921	0,031	-62,601	110,738
BG_161	16	2,731	0,268	5,735	0,333	1,128	0,131	-19,007	472,868
BG_162	13	2,513	0,204	6,902	0,390	1,561	0,146	-23,897	525,144
BG_166	7	2,503	0,201	6,973	0,320	0,689	0,034	-26,075	121,787
BG_168	5	2,541	0,213	6,695	0,409	0,574	0,023	-25,787	82,580
BG_173	16	2,640	0,242	6,127	0,375	1,130	0,095	-25,110	342,650
BG_174	11	2,540	0,213	6,700	0,372	0,609	0,005	-153,195	16,742
BG_175	13	2,611	0,234	6,275	0,286	0,928	0,118	-17,433	424,318
BG_176	16	2,587	0,227	6,409	0,349	1,206	0,026	-96,080	92,535
BG_181	16	2,594	0,229	6,369	0,230	0,688	0,011	-116,044	40,946
BG_182	16	2,483	0,194	7,145	0,243	0,894	0,005	-485,714	17,951
BG_187	16	2,580	0,225	6,450	0,309	1,200	0,022	-177,086	80,244
BG_188	13	2,663	0,249	6,019	0,287	0,472	0,060	-9,708	214,258
BG_189	16	2,564	0,220	6,545	0,223	0,598	0,013	-87,982	48,269
BG_192	15	2,482	0,194	7,146	0,294	1,033	0,028	-73,778	101,150
BG_193	5	2,529	0,209	6,781	0,370	1,037	0,073	-24,586	264,586
BG_194	16	2,358	0,152	8,593	0,253	1,355	0,003	-1357,866	12,502
BG_195	5	2,527	0,209	6,792	0,383	1,383	0,122	-24,455	438,833
BG_196	12	2,620	0,237	6,224	0,320	2,052	0,130	-59,538	466,968

APÊNDICE 3 – Características geométricas e seqüência de cálculo da bacia do Riacho

Guaraíra

Elemento	Área (m²)	Comprimento do Plano (m)	Largura do plano (m)	Declividade	Comprimento do canal (m)	Elemento anterior		
						Superior	Esquerda	Direita
1	219.517,92	655,25	335,01	0,025				
2	448.132,59	813,81	550,66	0,022		1		
3	202.577,88	563,17	359,71	0,032		2		
4	346.296,75	711,71	486,57	0,017		3		
5	496.070,94	550,89	900,49	0,015				
6	406.378,00	586,98	692,32	0,022		5		
7	62.290,35	575,59	108,22	0,043				
8	84.801,68	575,59	147,33	0,045				
9					575,59	6	8	7
10	52.804,63	575,59	91,74	0,028				
11	80.669,41	420,71	192,07	0,036				
12					420,71	4	10	11
13	187.542,09	881,97	212,64	0,036				
14	807.194,44	848,66	951,14	0,023				
15	160.142,67	1266,05	126,49	0,144		13		
16	215.266,48	1226,05	170,03	0,072		14		
17					1266,05	9; 12	16	15
18	49.140,14	275,11	178,62	0,011				
19	108.714,73	459,08	236,81	0,044				
20	58.303,16	459,08	127,09	0,092				
21					459,08	18	20	19
22	40.186,28	476,31	84,37	0,139				
23	276.807,56	476,31	581,15	0,062				
24					476,31		23	22
25	115.554,80	305,83	377,84	0,032				
26	28.268,79	306,47	92,24	0,105				
27	24.713,74	306,47	80,64	0,174				
28					306,47	25	26	27
29	4.855,64	128,49	37,79	0,04				
30	6.723,88	128,49	52,33	0,039				
31					128,49	21; 28	29	30
32	7.560,58	120,2	62,90	0,047				
33	15.607,97	120,2	129,85	0,032				
34					120,2	17; 24	33	32
35	406.132,91	602,92	673,61	0,074				
36	310.272,31	749,45	414,00	0,09				
37	206.135,30	1452,68	141,90	0,056		36		
38	307.866,47	1452,68	211,93	0,067		35		
39					1452,68	31; 34	38	37

APÊNDICE 4 – Lista dos valores dos parâmetros calibrados pelo modelo Kineros2 dos elementos discretizados da bacia do Riacho Guaraíra

Elemento	Parâmetros													
	n	c_f	C	T	S_i	C_o	K_s		G		ϕ		R_o	
							Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
1	0,8		1,0	300	0,2	0,8	47,29	2,29	5	4	0,25	0,24	0	0
2	0,8		1,0	300	0,2	0,8	47,29	2,29	5	4	0,25	0,24	0	0
3	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
4	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
5	0,8		1,0	300	0,2	0,8	47,29	2,29	5	4	0,25	0,24	0	0
6	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
7	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
8	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
10	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
11	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
13	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
14	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
15	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
16	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
18	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
19	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
20	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
22	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
23	0,8		1,0	300	0,2	0,8	38,62	3,62	5	4	0,29	0,28	0	0
25	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
26	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
27	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
29	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
30	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
32	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
33	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
35	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
36	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
37	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0
38	0,8		1,0	300	0,2	0,8	12,50	2,50	5	4	0,30	0,29	0	0