UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LEONARDO BASTOS BRUM

O USO DA ÁGUA PELA AGRICULTURA IRRIGADA NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO: Bacia do Córrego Sujo - Teresópolis

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Rio de Janeiro
2010

LEONARDO BASTOS BRUM

O USO DA ÁGUA PELA AGRICULTURA IRRIGADA NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO: Bacia do Córrego Sujo - Teresópolis

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência (M. Sc).

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Rio de Janeiro
2010

LEONARDO BASTOS BRUM

O USO DA ÁGUA PELA AGRICULTURA IRRIGADA NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO: Bacia do Córrego Sujo - Teresópolis

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciência (M. Sc).

Aprovada em ___ / ___ / _____

_____

Orientador
Prof. André de Souza Avelar, D. Sc. – IGEO/UFRJ

_____

Prof[a]. Ana Luiza Coelho Netto, D. Sc. – IGEO/UFRJ

_____

Prof[a]. Mônica dos Santos Marçal, D. Sc. – IGEO/UFRJ

_____

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph.D. – COPPE/UFRJ

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus por ter me possibilitado concluir mais esta etapa.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Vera e José, que são antes de tudo o começo, o referencial. Meu muito Obrigado!

Aos coordenadores do Laboratório de Geohidroecologia, Professora Ana Luiza Coelho Netto e, em especial, ao Professor André de Souza Avelar, pela orientação e exemplo de dedicação às atividades de pesquisa e ensino. Minha sincera admiração!

A toda equipe que integrou a área de estudo da bacia do Córrego Sujo, pela amizade, ajuda mútua e aprendizagem: Ingrid Araújo, Carlos Eduardo Menezes, Mário Nacinovic e Vítor dos Santos. Além de Guilherme Lustosa, pelas inúmeras vezes de ajuda em campo. Faltam palavras!

A todos os agricultores, pelo acolhimento e troca de experiências, em especial ao Roberto Selig e Dona Raquel – presidente da Associação de Moradores do Córrego Sujo.

Aos que autorizaram a instalação de equipamentos em suas propriedades: Sr. Roberto Selig, Sr. Gilberto e Sr. Ademir.

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil (Rio de Janeiro), em nome de Ligia Araújo, pela parceria de pesquisa na bacia do Córrego Sujo.

Aos observadores de campo, Geovani, Dona Sandra, Luciano e posteriormente Lessandro, pela contribuição diária a esta pesquisa na leitura dos instrumentos.

Ao LAGEOP/UFRJ, em nome do Professor Jorge Xavier da Silva e sua equipe, pelo auxílio no uso dos programas S.A.G.A. e VICON – UFRJ.

Aos amigos, Cristiano Oliveira pela imensa ajuda no término deste trabalho e Martilene Côrtes, pelas parcerias e desdobramentos de novas pesquisas na bacia Córrego Sujo.

Aos órgãos de fomento CNPq, CAPES e FAPERJ, pelo apoio financeiro e concessão de bolsas.

A toda equipe do Geoheco, em especial a Daniele Mendonça, que, com sua ajuda administrativa muito contribuiu para esta pesquisa, e a Jorge Vieira, pela condução e presteza em campo. Obrigado a todos!

“O pesquisador transforma-se em educador quando, ao oferecer seu trabalho ao mundo, descreve o caminho por meio do qual conseguiu seu objetivo”

(Gilbert, 1886)

Resumo

BRUM, Leonardo Bastos. O uso da água pela agricultura irrigada na Região Serrana do Rio de Janeiro: Bacia do Córrego Sujo – Teresópolis. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Apesar da sua relativa escassez e de sua absoluta importância para a vida no planeta terra, recursos de água doce são, muitas vezes, mal utilizados ou poluídos desnecessariamente. Diante dos diferentes tipos de uso, a agricultura irrigada apresenta as maiores demandas de água para a produção. Assim, a presente pesquisa tem como foco o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Córrego Sujo, situada na região serrana do Rio de Janeiro, a partir do levantamento e compreensão dos diferentes usos da água na bacia. Essa bacia possui área de 53,5 km^2 e apresenta elevado uso por agricultura irrigada convencional (olericultura). Esta pesquisa tem como objetivo geral caracterizar e quantificar o uso da água pela agricultura irrigada na bacia do Córrego Sujo, visando relacionar disponibilidade e demanda hídrica. Para isto, foram elaborados o mapa de uso do solo e água da bacia e mensurados as entradas de chuva, o escoamento superficial e a infiltração, a captação de água pela atividade agrícola, além de medições de vazão no canal fluvial. Os resultados indicam que, ao longo do tempo, na bacia do Córrego Sujo houve significativa retirada de cobertura florestal de Mata Atlântica e sua degradação mais recente está ligada à implantação de pastagens e ao uso do solo para agricultura olerícola. Foi identificada expressiva utilização de água na agricultura irrigada, uma vez

que apenas um aspersor é capaz de inserir entre 1,5 a 4,0 mm de água no cultivo em apenas 10 minutos. Por fim, observou-se que a principal variável do acionamento dos sistemas de irrigação pelos agricultores é a precipitação em detrimento de medições adequadas de temperatura e da variação da evapotranspiração. Foi totalizada uma retirada média de 15.930 m^3 de água por dia do sistema para irrigação das lavouras na bacia, para dias não chuvosos, o que tem se aproximado, na estação seca, da disponibilidade superficial da bacia. O mês de agosto apresentou-se como o mês mais crítico na relação demanda e disponibilidade do recurso hídrico, o que evidencia os problemas a cerca do uso da água na bacia e demonstra a necessidade de otimização e planejamento do uso da água, que é tão importante para a manutenção dessa atividade econômica e sustentabilidade da população no campo.

Abstract

BRUM, Leonardo Bastos. O uso da água pela agricultura irrigada na Região Serrana do Rio de Janeiro: Bacia do Córrego Sujo – Teresópolis. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Despite its relative scarcity and its relevance to life on Earth, freshwater resources are often misused or polluted unnecessarily. Given the different types of usage irrigated agriculture has the water's highest demand for production. Therefore, this research focuses on the management of water resources in the catchment area of Córrego Sujo, located in the mountain region of Rio de Janeiro, under the framework of studying and of understanding the different usages of water in the basin. This basin has an area of 53.5 km2 and its presents a high demand level by conventional irrigated agriculture (horticulture). This research aims to characterize and to quantify the overall water use by irrigated agriculture in the basin of Córrego Sujo, highlighting the relationships between water demand and water availability. For achieving this goal, the map of soil use and the map of water use were constructed for the basin. In addition, inputs of rainfall, runoff and infiltration, uptake of water by agriculture, and flow measurements in the river channel were measured. The results indicate that the basin of Córrego Sujo for a long of time period there was a significant withdrawal of coverage of Atlantic Forest and its corresponding degradation is linked to this latest deployment of pasture and land use for agriculture cucurbit. It was identified expressive use of water in irrigated agriculture, since only one sprinkler is capable of inserting between 1.5 and 4.0 mm of water in cultivation in a short period of time of 10 minutes. Finally, we observed

that the main variable driving the irrigation systems by farmers is the precipitation at the expense of variation of temperature and evapotranspiration variability. It was totalized an average water withdrawal of 15 930 m3 per day of the system for irrigating crops in the basin, during the days with no rain. This amount of water has approached the dry season availability of the balance between shallow bowl. The month of August was identified as the most critical month with respect to demand and availability of water resources, which raises issues about the use of water in the basin and demonstrates the need for optimization and planning of water use, since it is so important for the maintenance of economic activity and sustainability of the population in the field.

SUMÁRIO

1) Introdução **15**
2) Objetivos **19**
2.1) Geral **19**
2.2)Específicos **19**

3) Revisão Bibliográfica **20**
3.1) O Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica **20**
3.2) O Uso da Água na Agricultura Irrigada **23**
3.3) A Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos **24**

4) Área de Estudo **27**

5) Materiais e Métodos **32**
5.1) Mapeamento do uso do solo e cobertura Vegetal **32**
5.2) Mapeamento e Caracterização dos Usuários de Água **33**
5.3) Quantificação da Captação de Água pela Irrigação **35**
5.4) Precipitação **37**
5.5) Escoamento Superficial e Infiltração **41**
5.6) Fluviometria **43**

6) Resultados e Discussão **49**
6.1) Mapeamento do uso do solo e cobertura Vegetal **49**
6.2) Mapeamento e Caracterização dos Usuários de Água **51**
6.3) Quantificação da Captação de Água pela Irrigação **56**
6.4) Resultantes Hidrológicas **60**
6.4.1) Precipitação **60**
6.4.2) Escoamento Superficial e Infiltração **63**
6.4.3) Fluviometria **66**
6.4.3.1) Relação Precipitação e Altura Linimétrica **66**
6.4.3.2) Curva-Chave **75**
6.5) Estimativas entre a Disponibilidade e a Demanda de Água para a Agricultura Irrigada **80**

7) Conclusões e Futuras Pesquisas **82**
7.1) Conclusões **82**
7.2) Sugestões para Trabalhos e Futuras Pesquisas **85**

8) Referências Bibliográficas **86**

Anexo A – Especificações dos equipamentos **90**
A.1) Especificação do Medidor de Fluxo **90**
A.2) Especificação da Estação Automática Pluvio-Fluvio **90**

Lista de Figuras

Figura 3.1: Esquema dos movimentos e mudanças de estado da água no ciclo hidrológico. Fonte: Coelho Netto, 1994.....**21**

Figura 4.1: Mapa de localização da Bacia do Córrego Sujo.....**28**

Figura 4.2 – Fotografia da área de agricultura de alface com sistema de bombeamento de água do canal fluvial e irrigação por aspersão.....**30**

Figura 4.3 – Fotografias aéreas do Mosaico da paisagem, característica geomorfológica geral da bacia e forte presença da agricultura nos fundos de vale. Fonte.....**31**

Figura 5.1 – Estrutura do questionário quantitativo semi-estruturado aplicado na Bacia.....**34**

Figura 5.2 – Fotografia do experimento para mensuração dos volumes de água da irrigação por aspersão, distribuição ao redor do aspersor.....**36**

Figura 5.3 – Fotografia detalhando pluviômetro artesanal utilizado nos ensaios de aspersão.....**36**

Figura 5.4 – Fotografia da estação pluvio-fluviométrica baixo curso instalada na bacia do Córrego Sujo.....**38**

Figura 5.5 – Fotografia detalhando a estação automática pluvio-fluviométrica Linígrafo Flex e retirada de dados do datalogger.....**39**

Figura 5.6 – Mapa de localização das estações pluvio-fluviométricas instaladas na bacia.....**40**

Figura 5.7 – Esquema da Parcela de escoamento do tipo Gerlach.....**42**

Figura 5.8 – Fotografia de parcela hidro-erosiva na área de agricultura instalada na bacia do Córrego Sujo.....**43**

Figura 5.9 – Fotografia na parcela hidro-erosiva na área de pastagem instalada na bacia do Córrego Sujo.....**43**

Figura 5.10 – Fotografias da instalação da seção de réguas linimétricas nas estações baixo e alto curso.....**44**

Figura 5.11 – Fotografias das seções de réguas linimétricas nas estações alto e médio curso.....**44**

Figura 5.12 – Esquema de cálculo da seção média. Fonte: Santos et al. 2001.....**45**

Figura 5.13 – Medição de Vazão com molinete hidrométrico na Estação Alto Curso..**47**

Figura 5.14 – Medição de Vazão com molinete hidrométrico na Estação Baixo Curso.....**48**

Figura 6.1: Mapa de Uso e Cobertura da Bacia do Córrego Sujo – 2001.....**50**

Figura 6.2: Percentuais de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da Bacia do Córrego Sujo– 2001.....**49**

Figura 6.3 – Mapa de localização dos usuários de água da bacia do Córrego Sujo....**52**

Figura 6.4 – Diagnóstico das atividades agrícolas da bacia; da origem da água utilizada na produção agrícola e dos sistemas de irrigação empregados.....**53**

Figura 6.5 – Principais olerícolas cultivadas na Bacia.....**54**

Figura 6.6 – Classes de potencia das bombas utilizadas nos sistemas de irrigação...**53**

Figura 6.7 – Medição da quantidade de água irrigada (mm) e distribuição espacial da irrigação por aspersão, produzidos por sistemas a gravidade (a, b e c).....**57**

Figura 6.8 – Medição da quantidade de água irrigada (mm) e distribuição espacial da irrigação por aspersão, produzidos por sistemas elétricos (a, b, c e d).....**58**

Figura 6.9– Medição da quantidade de água irrigada (mm) e distribuição espacial da irrigação por aspersão, produzidos por sistemas a diesel (a, b, c e d).....**59**

Figura 6.10 – Precipitação Estação Alto Curso e Precipitação Média Regional para os anos entre 1995 e 2003.....**61**

Figura 6.11 – Precipitação Estação Médio Curso e Precipitação Média Regional para os anos entre 1995 e 2003.....**62**

Figura 6.12 – Precipitação Estação Baixo Curso e Precipitação Média Regional para os anos entre 1995 e 2003.....**63**

Figura 6. 13– Percentual do total escoado para cada uso do solo na bacia.....**64**

Figura 6.14 - Relação entre escoamento superficial e precipitações mensais nas quatro áreas mensuradas.....**65**

Figura 6.15 – Relação entre precipitação e escoamento superficial para mês de dezembro na área de Olericultura.....**66**

Figura 6.16 – Altura Linimétrica entre maio e Dezembro de 2009 para as três as Estações.....**68**

Figura 6.17 – Precipitação e Altura Linimétrica entre maio e Dezembro de 2009 para as três as Estações.....**69**

6.18 – Precipitação e altura linimétrica entre outubro de 2009 e fevereiro de 2010 em período seco na estação automática baixo curso.....**71**

6.19 – Precipitação e altura linimétrica entre outubro de 2009 e fevereiro de 2010 em período úmidoo na estação automática baixo curso.....**72**

Figura 6.20 – Curva-Chave de tributário do rio Córrego Sujo (Estação Alto Curso – Cabeceira de Drenagem).....**76**

Figura 6.21 – Curva-Chave do rio Córrego Sujo (Estação Médio Curso).....**78**

Figura 6.22 – Curva-Chave do rio Córrego Sujo (Estação Baixo Curso).....**79**

Figura 6.23 – Relação da Vazão Diária (a) e em 12 horas (b) frente o volume de água retirado por dia pela agricultura.....**81**

Lista de tabelas

Tabela 01 – Diagnóstico das bombas hidráulicas utilizadas na produção agrícola.....**55**

Tabela 02 – Intensidade de eventos de chuva e detalhamento da variação linimétrica na bacia do Córrego Sujo.....**73**

Tabela 03 – Valores da altura da lâmina de água e vazão da Estação Alto Curso.....**76**

Tabela 04 – Valores da altura da lâmina de água e vazão da Estação Médio Curso....**77**

Tabela 05 – Valores da altura da lâmina de água e vazão da Estação Baixo Curso....**79**

1) INTRODUÇÃO

Até o início da segunda metade do século XX, em uma perspectiva geral, a água foi percebida, na escala planetária, como um recurso natural abundante e renovável. A partir desse momento, foi dada maior atenção às condições de escassez e da poluição desse recurso, fundamental para a saúde da biosfera, bem como para o crescimento econômico e o bem-estar social (Carter, 2007). Conforme ressalta esse autor, apesar da sua relativa escassez e de absoluta importância para a vida na Terra, recursos de água doce são, muitas vezes, mal utilizados ou poluídos desnecessariamente. Diante disso, as sociedades de vários países ocidentais iniciaram uma reavaliação do conceito de abundância e sustentabilidade, conscientizando-se dos graves riscos ambientais e sociais, refletindo-se, então, no estabelecimento de novos paradigmas na maneira de administrar o uso das águas (Tundisi, 2003).

Um exemplo disso é a França, que, nos anos 60 do século passado, incorporou um novo modelo de gestão de seus recursos hídricos, com a implementação de instrumentos institucionais inovadores e a participação de novos atores relacionados a esse setor. A partir disso, outros países também começaram a implantar novos modelos para administrar o uso de suas águas. Desde então, começou a se consolidar uma nova área de estudo, de pesquisa e ação: *a gestão das águas*, que veio inspirar as mudanças brasileiras mais adiante (Machado, 2004).

Através dos problemas relacionados ao abastecimento humano, assim como a necessidade de produção de bens em quase todas as atividades econômicas, distribuição geográfica desigual, seja entre ou dentro dos países, e o prenúncio de potencial finitude, a água passa a gerar polêmica e conflitos. Surge, então, o conceito de gestão sustentável dos recursos hídricos, destaque em todo mundo

como uma proposta para garantir que as atividades relacionadas com a água continuem hoje e para as gerações futuras.

Do ponto de vista jurídico, a institucionalização da gestão de recursos hídricos no Brasil é proporcionada pelo artigo 21 (inciso XIX) da Constituição Federal de 1988, que objetiva instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e definir critérios de outorga para o uso da água. Esse artigo da constituição veio a ser sistematizado e regulamentado após a promulgação da Lei Federal 9.433/97, que estabelece os seguintes princípios fundamentais: (a) a água como bem coletivo, (b) finito e economicamente estratégico, (c) administrada por uma gestão descentralizada e participativa e (d) a bacia hidrográfica como a unidade territorial de planejamento (através dos comitês de bacia). A partir da promulgação dessa lei, são geradas legislações estaduais para a gestão dos recursos hídricos, voltadas especificamente para as bacias identificadas, como aquelas, que seus limites físicos estão inseridos dentro das fronteiras territoriais do estado. A bacia do Córrego Sujo, aqui estudada, é regida pela Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 3.239/99), responsável em enquadrar os corpos hídricos do estado do Rio de Janeiro aos princípios fundamentais da lei federal. A bacia do Córrego Sujo faz parte da área gestão do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha (Decreto Nº 38.235/05), que atualmente busca aprovar o plano de bacia e definir as prioridades para o uso da água e os valores a serem cobrados dos usuários. A partir desse novo paradigma legal que intervém no ordenamento do território, fica evidente a necessidade de maior entendimento sobre o comportamento hidrológico de bacias e sobre as alterações promovidas pelas necessidades do uso da água, seja para fins urbanos ou rurais, já debatidas, por exemplo, em Avelar (2003) e Carter (2007).

Sabe-se da existência de uma diversidade de conceitos referentes à gestão de recursos hídricos e gerenciamento de recursos hídricos, com algum grau de confusão na correspondente interpretação. Ainda hoje, há relativamente pouca

fundamentação geográfica em torno desses conceitos. Mesmo assim, é possível considerar a gestão dos recursos hídricos como um instrumento que orienta o poder público e a sociedade, no longo prazo, na utilização dos recursos hídricos e também ambientais, para promoção do desenvolvimento sustentável, que envolve questões naturais e sociais. Dentre aqueles que estudam este tema, Lanna (1995) cita que *"gerenciamento de recursos hídricos busca a harmonização das demandas e da oferta da bacia (disponibilidade hídrica)"*, estando ligado à mensuração e monitoramento do comportamento hidrológico.

Trabalhos conduzidos na bacia do Córrego Sujo pelo Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO/UFRJ) têm mostrado que, até o momento, não havia qualquer controle da quantidade e qualidade da água retirada dos canais fluviais para fins de irrigação. Assim não se conhecia a oferta e qualidade da água da respectiva bacia e não havia conhecimento sobre as relações dessa agricultura irrigada com a dispersão de contaminantes para o solo e nas águas subterrâneas e superficiais. Além disso, como existe intenso uso de fertilizantes orgânicos (esterco) e químicos (geralmente NPK) nos solos da bacia (Barreto, 2005; Oliveira, 2007), há uma tendência de causar eutrofização na água dos rios e prejuízo no seu uso para abastecimento humano. Também é comum a aplicação de pesticidas foliares que proporciona a dispersão de contaminantes no solo e nas águas superficiais e subterrâneas (Oliveira, 2007). Outro agravante é que, a partir do momento em que se implantam novas áreas de agricultura, tende a ocorrer erosão nessas áreas e o transporte de sedimentos para os canais, gerando assoreamentos em alguns trechos dos canais e elevando, por exemplo os valores de turbidez, conforme é relatado por Guerra (1994), Avelar (2003), Nacinovic (2009) e Menezes (2009).

Outra questão refere-se a relatos da comunidade local sobre freqüentes conflitos pelo uso da água retirada dos canais fluviais para irrigação, principalmente, nas áreas de cabaceira de drenagem em períodos de estiagem. Possivelmente,

esses problemas se dão pela diminuição da vazão no período e pela excessiva retirada de água por bombeamento a montante.

Desse modo, esta dissertação busca o entendimento do balanço hídrico e os modos de utilização da água na bacia do Córrego Sujo, através de mensurações hidrológicas.

Frente ao exposto, a presente pesquisa tem como meta o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Córrego Sujo, situada na região serrana do Rio de Janeiro, a partir do levantamento e compreensão dos diferentes usos da água na bacia. Essa bacia possui área de 53,5 km^2 e apresenta elevado uso por agricultura irrigada convencional (olericultura). Sabe-se que a agricultura irrigada é uma das práticas que apresentam as maiores demandas de água para a produção (Carvalho, 2003). Nesse caso, a água é um recurso de fundamental importância para a comunidade local, além de ser relevante para a região metropolitana do Rio de Janeiro que consome grande parte da produção agrícola gerada nessa bacia hidrográfica.

Cabe ressaltar que apoiaram esta pesquisa os trabalhos de iniciação científica – *"Análise das Mudanças da Cobertura Vegetal, Uso do Solo e da Água na Agricultura Irrigada - Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)"* da aluna Ingrid Araújo e – *"Parâmetros Hidrológicos e Erosivos em Parcelas Experimentais, Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)"* do aluno Carlos Eduardo Menezes.

Este tema de pesquisa justifica-se pela falta de informações e estudos científicos referentes às necessidades de uso de água nos sistemas agrícolas irrigados, especialmente os existentes na região serrana do estado do Rio de Janeiro.

2) OBJETIVOS

2.1) Geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal identificar e quantificar o uso da água pela agricultura irrigada na bacia do Córrego Sujo, visando relacionar disponibilidade e demanda hídrica. Visa também avaliar os usos múltiplos da água na bacia, a fim de contribuir como ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos.

2.2) Específicos

1) Identificar os usuários de água da bacia do Córrego Sujo, por meio de levantamentos de campo;

2) Elaborar um mapa de uso do solo e água;

3) Identificar a oferta de água na respectiva bacia, conforme as mensurações pluviométricas e fluviométricas;

4) Quantificar a demanda de água pela agricultura irrigada, para avaliar sua participação frente à oferta do canal fluvial.

3) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1) O Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica

A dinâmica da água no nosso planeta acompanha aquilo que chamamos de ciclo hidrológico. Este ciclo caracteriza-se pelo movimento constante da água e por sua passagem por diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso), dependendo da maior ou menor quantidade de energia que a Terra recebe do Sol. De acordo com a descrição de Coelho Netto (1994), parte da água estocada na superfície terrestre é transferida para a atmosfera por evaporação e por evapotranspiração. Em seguida, o vapor de água, ao alcançar determinados níveis de altitude e temperatura e/ou encontrarem partículas que sirvam como núcleos higroscópicos, condensa-se. Quando atingem uma massa crítica, as micro-gotículas não conseguem se manter suspensas e precipitam na forma líquida (chuvas) ou sólida (gelo ou neve), que, antes de atingir a superfície, podem ser parcialmente evaporadas e/ou interceptadas pela vegetação. A água fica armazenada na copa das árvores e na serrapilheira de onde retorna à atmosfera por evaporação e/ou evapotranspiração. Em regiões glaciais, a água volta à atmosfera por sublimação (Figura 3.1).

A água da chuva ao atingir o solo infiltra, percola e escoa superficialmente ou subsuperficialmente de acordo com os níveis de saturação e características físicas do solo. A água infiltrada e estocada no solo pode ser absorvida pelas plantas e devolvida a atmosfera através de evapotranspiração. A água que não retorna à atmosfera abastece os reservatórios subsuperficiais (também chamados de subterrâneos), movimentando-se lentamente como fluxos subterrâneos. Muitas vezes, os fluxos subterrâneos de água alimentam rios e garantem sua perenidade, mesmo em períodos de longa estiagem. Em tempos diferentes, a água infiltrada tem,

como destino final os corpos de água superficiais, atingindo os oceanos, rios e lagos, que sofrem evaporação e permitem o reinicio do ciclo.

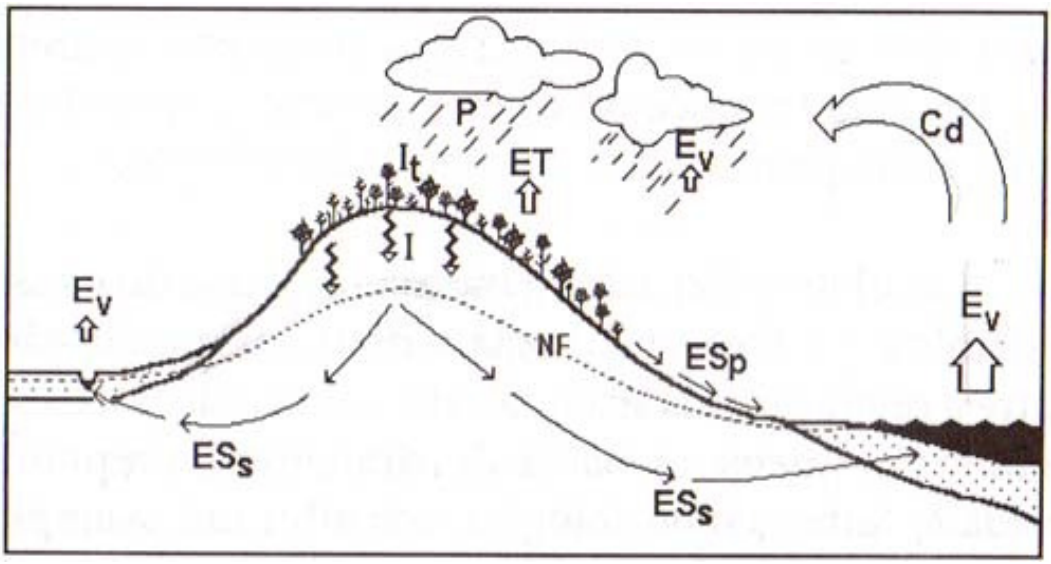


Figura 3.1 – Movimentos e mudanças de estado da água no ciclo hidrológico: Ev = evaporação (oceanos, rios, lagos e durante a precipitação); ET = evapotranspiração (solos e plantas); Cd = condensação do vapor e formação de nuvens; P = precipitação; It = interceptação pela vegetação; I = infiltração; ESp = escoamento superficial; ESs = escoamento subsuperficial ou subterrâneo; NF = nível freático (Fonte: COELHO NETTO in Guerra e Cunha, 1994).

O ciclo hidrológico, embora possa parecer um mecanismo contínuo, segue, na verdade, uma ordem aleatória que varia temporal e espacialmente. Conhecer o movimento da água, em suas diferentes trajetórias, é fundamental para a modelagem geomorfológica e para a definição da dinâmica hidrológica de uma bacia de drenagem. A vocação hidrológica de uma área conjugada com a sua paisagem mantém relação direta, por exemplo, com a recarga de mananciais e com a propagação de poluentes.

Quanto à bacia hidrográfica, existe uma diversidade de conceitos que varia mais na forma do que no conteúdo, pois todos tomam por base ou fazem menção à delimitação topográfica e à convergência de canais para uma saída comum.

A bacia de hidrográfica ou bacia de drenagem, segundo Coelho Netto (1994), é conceituada como *"... uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto*

de um canal fluvial". Nesse sentido, a bacia de drenagem é composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes inseridas na área delimitada por um divisor de águas, onde existe uma rede de drenagem constituída por canais fluviais que confluem até resultar em um leito único no exutório. O limite de uma bacia hidrográfica é conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas.

Ao considerar uma abordagem sistêmica, Chorley (1962, apud Coelho Netto 1994) compara a bacia de drenagem, enquanto uma unidade hidrogeomorfológica, a um sistema aberto na medida em que recebe energia climática e tectônica e perde energia por meio dos elementos que transporta (água, sedimentos e solúveis). Assim, mudanças externas no suprimento de energia e massa conduzem a um alto ajuste das formas e processos. Conclui-se que *"... como um membro do sistema pode influenciar todos os demais, então, cada membro é influenciado por todos os outros. Há uma interdependência por meio do sistema"* (Gilbert, 1877 apud Coelho Netto, 1994).

Coelho Netto (1994), seguindo o conceito de auto-ajuste defendido por Chorley (1962), explana que:

> *"alterações significativas na composição ambiental de uma certa porção da bacia de drenagem poderão afetar outras áreas situadas a jusante. Significa, portanto, que os efeitos hidrológicos e geomorfológicos de processos naturais antrópicos se vão refletir num determinado ponto de saída de uma bacia de drenagem adjacentes. Tais aspectos devem ser levados em consideração no planejamento das formas de intervenção humana, mesmo que o interesse planejador recaia sobre uma área restrita da bacia de drenagem. Sem dúvida alguma, a bacia de drenagem revela-se como uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e geomorfológicos e das ligações espaciais entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional".*

Tendo em vista o que foi mencionado, a definição da bacia como unidade de planejamento passa a ser fundamental para o estabelecimento de projetos de gerenciamento de recursos hídricos

3.2) O Uso da Água na Agricultura Irrigada

Com o crescimento populacional, aumenta-se a demanda por alimentos. Mais do que 50% da população mundial depende de produtos irrigados. No mundo, 1/6 da área cultivada é irrigada e responde por 1/3 da produção global de alimentos (Oliveira & Coelho, 2000). De acordo com Leme (1991) apud carvalho (2003), devido a esse aumento populacional, a humanidade vê-se compelida a usar maior quantidade possível de solos agricultáveis, impulsionando o uso da irrigação não só para tornar produtivas as regiões áridas e semi-áridas do planeta, como para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas.

Segundo Gomes (1999),

> *"a irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as dotações pluviométricas, ou qualquer outra forma natural de abastecimento não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas".*

O mesmo autor ainda ressalta que a irrigação apresenta grande salto na produção, principalmente de pequenos produtores, pois mesmo quando usada em pequenos lotes, permite diversificar a produção e reduz os riscos de incertezas quanto ao produto final.

Conforme mencionado por Carvalho (2003) a aplicação da água na lavoura é feita por métodos de irrigação que podem ser classificados em: irrigação superficial (sulcos de irrigação, taças de inundação corrugação, etc); irrigação sub-superficial (tubos porosos, tubos perfurados, elevação do lençol freático); irrigação por aspersão (convencional, autopropelido, pivô central, montagem direta, etc) e irrigação localizada (gotejamento, jato-pulsante, microaspersão etc). A irrigação é a atividade humana que demanda maior quantidade total de água, respondendo por 80% das derivações de água no mundo e superando os 60% no Brasil. Todavia, grande parte da água consumida pela agricultura irrigada volta para o ciclo

hidrológico (Faganelo, 2007). Nesse sentido, Folegatti *et al.* (2004), fazem importante consideração:

> *"(...) a agricultura é a maior consumidora de recursos hídricos, porém, vale ressaltar que apenas 3 a 5% permanecerá nos vegetais colhidos e 95 a 97% do volume aplicado retorna a atmosfera na forma de vapor d, água e, conseqüentemente, para os mananciais e rios na forma de chuva, mantendo o ciclo hidrológico".*

Porém, o estágio tecnológico atual mostra que a viabilidade econômica da irrigação está relacionada com a aplicação de água na quantidade certa e em fases da cultura com maior potencial de resposta e não com a aplicação de lâmina de água máxima durante todo o ciclo. Portanto a tendência atual é a otimização da irrigação das culturas, visando a obtenção da produtividade ótima (Leme 1991, apud Carvalho, 2003).

Neste sentido, agricultura irrigada pode triplicar a produtividade de uma área, entretanto, se não for feita de forma eficiente, pode provocar sérios danos ambientais, dentre eles: consumo exagerado da disponibilidade hídrica da região, contaminação dos recursos hídricos, salinização do solo, erosão dos solos, assoreamento dos corpos hídricos, entre outros (Faganello, 2007).

Assim, cabe ressaltar a importância do uso de irrigação com eficiência, projetos corretamente dimensionados e com manutenção adequada, tornando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e implementação.

3.4) A Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos

A primeira regulamentação sobre os recursos hídricos no Brasil, data da década de 1930 com o Código das Águas, que se baseava num modelo centralizado e sob forte influência do setor elétrico, onde cada um visualizava uma única função e um único uso para água, de acordo com seus interesses e necessidades (irrigação,

abastecimento domiciliar, abastecimento industrial, geração de energia e outros) (Brum, 2007).

Uma série de implementações políticas influenciaram a criação da Política Nacional e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (lei n◦ 9.433, de 8 de janeiro de 1997). A partir do "pacto federativo" promovido pela constituição de 1988, assim como os limiares da Agenda 21, e do programa de ação da Organização das Nações Unidas houve maior viabilização para a adoção do desenvolvimento sustentável e ambientalmente racional em todos os países. Houve também aliado a isso o aumento da complexidade em torno dos recursos hídricos no Brasil, com influências ligadas à expansão urbana e águas distribuídas de maneira não uniforme no território brasileiro, e etc.

De acordo com Brum (2007), Machado (2004), Mota (2004) e Pires do Rio e Peixoto (2001), os princípios da regulação e gestão dos recursos hídricos no Brasil, foram inspirados no modelo europeu, e mais especificamente no modelo francês, no que diz respeito à criação de um sistema nacional no qual as ações e os instrumentos de regulação são concebidos para serem aplicados em bacias hidrográficas.

Segundo Pires do Rio e Peixoto (2001):

> *"As modificações na organização institucional no Brasil têm seu marco na Constituição de 1988, que estabelece a figura de dominialidade das águas de superfície. Esta alteração constitui uma importante mudança em relação ao Código de Águas de 1934, que admitia a coexistência do domínio público e privado, embora assegurasse o uso gratuito da água para as necessidades vitais. O reconhecimento da água como recurso finito implicou na formulação da Lei 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. A própria Política Nacional de Recursos Hídricos estabelece que o controle do volume potencial de água para uso nas diversas regiões, as categorias de usuários, os serviços a serem prestados, bem como o acesso a eles, passam a depender de uma instância de âmbito nacional."*

Assim, ainda Pires do Rio e Peixoto (2001), elencam que o Sistema Nacional de Recursos Hídricos foi criado a fim de assegurar quatro objetivos: reduzir a

centralização do sistema de gestão; fazer a abertura do processo de decisão; arbitrar em situações de conflito de interesses decorrente da concorrência entre usos múltiplos na bacia hidrográfica e reduzir a tensão entre quantidade e degradação da qualidade água.

De acordo com a Lei 9.433/97, as decisões sobre o uso dos rios em todo país serão tomadas, dentro do contexto de bacia hidrográfica, pelos comitês de bacias. Os comitês de bacia hidrográfica (CBH) são órgãos colegiados descentralizados por bacias hidrográficas, sendo compostos por representantes do governo, municípios, usuários da água e sociedade civil (Rodrigues, 2005).

A partir dos limiares da Política Nacional de Recursos Hídricos, que transfere aos Estados o gerenciamento de seus Recursos Hídricos, a Lei Estadual Nº 3239 de 02 de Agosto de 1999 institui no Rio de Janeiro a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta Política Estadual tem como princípio à bacia hidrográfica como unidade básica de gerenciamento dos recursos hídricos, fundamentada na descentralização, com participação do Poder Público, dos usuários e sociedade civil. Assim, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos também instituído pela Lei 3239/99, deve ser integrado, dentre outros, pelos comitês de bacias hidrográficas, conforme disposto no art. 43 desta lei.

Além disso, a Lei 3.239/99, em seu artigo 3º parágrafo IV, define como um dos objetivos da gestão de recursos hídricos *"promover a articulação entre a União, estados vizinhos, municípios, usuários e sociedade civil, visando à integração de esforços para soluções regionais de proteção, conservação e recuperação dos corpos de água".*

4) ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Córrego Sujo, que está localizada entre as coordenadas 22°15' - 22°10' S de latitude e 42°55' – 42°45' W de longitude (UTM: 0720000/7534000 e 0720000/7546000). O Córrego Sujo é um tributário direto do rio Preto, que, por sua vez, drena para o rio Piabanha e este finalmente para o rio Paraíba do Sul. Desse modo, a bacia estudada insere-se na região serrana do estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Teresópolis e Nova Friburgo (Figura 4.1).

A bacia hidrográfica do Córrego Sujo possui 15,6 km de extensão e área de 53,5 km^2. É caracterizada por ser uma bacia de terceira ordem, segundo o método de hierarquização proposto por Strahler, utilizando-se, como base cartográfica, as cartas Teresópolis e Anta, na escala de 1:50.000, produzidos pelo IBGE.

Os dados regionais de precipitação e temperatura, para os anos entre 1995 e 2003, registrados nas estações de Teresópolis e Nova Friburgo, citados por Barreto (2005), indicam uma precipitação média anual acima dos 1350 mm para ambos os municípios e temperaturas em torno de 13º a 23º C, caracterizando-se como um clima tropical de altitude. Observa-se maior concentração de chuvas no verão (dezembro a março) e período de seca no inverno (junho a agosto). Cabe ressaltar que a estação meteorológica de Teresópolis está a 874 m de altitude e 22º 25’ S/ 42º 58’ W e a de Nova Friburgo está localizada a 846 m e 22º 15’ S/ 42º31’ W.

Segundo o mapa geológico contido no projeto CPRM - Rio de Janeiro (2000), na escala de 1: 500 000, a região da bacia do Córrego Sujo localiza-se na Unidade Serra dos Órgãos, composta por homoblenda–biotita granitóide de granulação grossa e composição geoquímica tonalítica e granítica. Apresenta textura e estrutura magmática preservada com foliação tangencial em estado sólido superimposta. Além disso, localmente podem ser observados enclaves e paleo-diques

anfibolíticos.

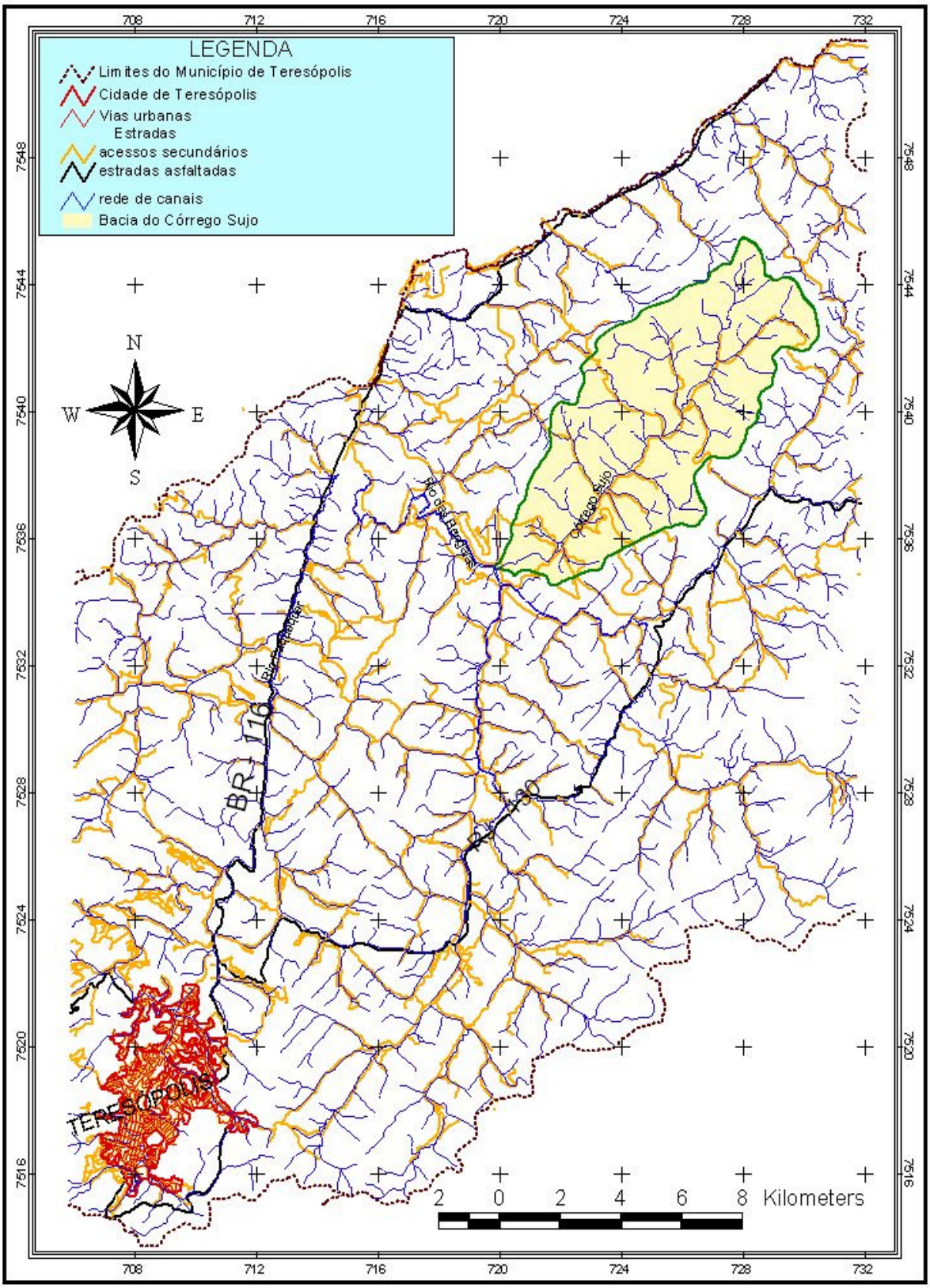


Figura 4.1 – Mapa de localização da Bacia do Córrego Sujo.

Neste mesmo projeto CPRM - Rio de Janeiro (2000), a caracterização geomorfológica na escala 1: 250 000 define a região com domínio montanhoso de morfologia bastante acidentada, com presença de pequenos alinhamentos serranos com direção WSW-ENE. Ainda aponta que no planalto dessa região serrana há a ocorrência de alvéolos de relevo suave, subordinados ao domínio montanhoso, onde, produzidos pela dissecação mais efetiva de uma determinada rede de drenagem ou condicionados por degraus estruturais, que favorecem a implantação dos sítios urbanos e o desenvolvimento das atividades agrícolas na região. Os sítios urbanos de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo estão instalados sobre importantes alvéolos intramontanos nas bacias dos rios Piabanha, Paquequer e Bengalas, respectivamente. Da mesma forma, os núcleos agrícolas situados entre Teresópolis e Nova Friburgo ocupam os fundos de vales e baixas encostas de alvéolos de relevo menos acidentado dos vales dos rios.

Os solos dominantes na região serrana são os cambissolos, geralmente ocorrendo em associação com os latossolos vermelho amarelo, em relevo montanhoso e forte ondulado; ou ainda associados a neossolos litólicos e afloramentos de rocha, nas áreas de relevo mais acidentado (EMBRAPA, 1999).

A bacia hidrográfica do Córrego Sujo faz parte da área de gestão do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 13/11/2003 e instalado em 14/09/2005 com sede em Petrópolis (CEIVAP, 2007).

Percebe-se que, ao longo do histórico de uso, a vegetação florestal dessa bacia foi sendo substituída por gramíneas e cultivos agrícolas, havendo intensa produção associada à irrigação e ao uso de insumos químicos e biológicos. A maior parte da produção agrícola na região, caracteriza-se pela olericultura (verduras e legumes), que utiliza sistemas de irrigação por aspersão, abastecidos pela retirada de água dos canais fluviais através de bombeamento (Figura 4.2). Nessa bacia,

predominam pequenas propriedades rurais, com uso de mão-de-obra familiar. Os produtos são cultivados em fundos de vale, seguindo o curso do Córrego Sujo e seus principais tributários, de onde é retirada a água para a irrigação (Figura 4.3). Tais atividades comprometem o balanço hídrico e a qualidade da água e solo, conforme foi levantado pelo Laboratório de Geo-Hidroecologia – GEOHECO, através da orientação da monografia intitulada – *Instrumentação Hidrológica e dos Diferentes Usos do Solo da Bacia do Córrego Sujo – Município de Teresópolis* – RJ (Barreto, 2005) e a tese de doutorado – *Indicadores Geoambientais de Qualidade das Águas na Bacia do Córrego Sujo, Médio Vale Paraíba do Sul, Teresópolis (RJ)* (Oliveira, 2007).

Figura 4.2 – Agricultura de alface com sistema de bombeamento de água do canal fluvial e irrigação por aspersão.

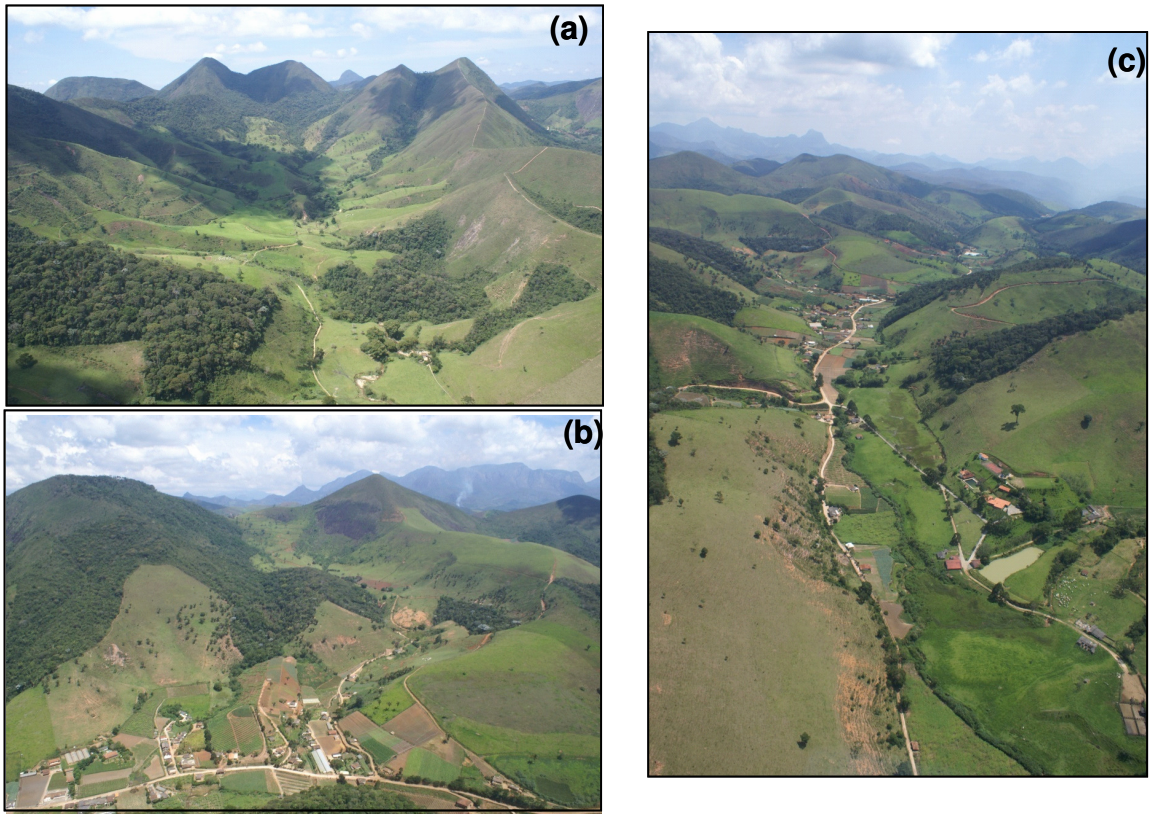


Figura 4.3 – Mosaico da paisagem e característica geomorfológica geral da bacia (a, b e c) e forte presença da agricultura nos fundos de vale (b e c). **Fonte:** GEOHECO/UFRJ – Dezembro/2008.

Ainda há produção hidropônica que também faz intenso uso de insumos químicos. Por outro lado, há algumas propriedades que cultivam produtos orgânicos, ou seja, sem utilizar qualquer tipo de insumos químicos.

Devido a essas características a bacia tem uma dinâmica socioeconômica e de uso do solo altamente variável ao longo do tempo (mosaico da paisagem), que faz com que seja necessário um levantamento detalhado dos parâmetros hidrológicos, pedológicos, de uso, e dos atores envolvidos na dinâmica espacial, para que seja possível entender seu funcionamento ambiental.

5) MATERIAIS E MÉTODOS

5.1) Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal

O mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal para o ano de 2001, foi elaborado em conjunto com o trabalho de iniciação científica da aluna Ingrid Araújo, a partir da imagem Ikonos multiespectral, que permite uma resolução espacial de 4 metros. A escolha das imagens multiespectrais deu-se por ser permitido trabalhar com cores, o que facilita o reconhecimento das diversas feições (4 cores – azul, verde, vermelho e infra-vermelho). Como parte do tratamento da imagem, foi realizado o georreferenciamento no software ARCGIS 9.2, utilizando os pontos de GPS coletados em campo. Foram coletados ao todo 18 pontos de controle em toda a extensão da bacia, dando prioridade para pontos onde haviam feições físicas perfeitamente identificáveis, tais como pontes e cruzamentos de estradas, sendo estes de fácil reconhecimento na imagem.

As classes de uso e cobertura foram geradas através da criação de polígonos em cima das feições mais freqüentes que foram reconhecidos na imagem. As classes identificadas foram floresta, capoeira, gramínea, silvicultura (eucalipto), agricultura, queimada, solo exposto, afloramento rochoso e corpos hídricos, neste caso, açudes.

Após a elaboração do mapa de uso e cobertura, foi utilizado o software Excel para elaboração do gráfico para conhecermos os percentuais dos usos encontrados nesse mapeamento.

5.2) Mapeamento e Caracterização dos Usuários de Água

Esta etapa do trabalho foi feita através da realização de entrevistas quantitativas semi-estruturadas (Figura 5.1). Na bacia do Córrego Sujo, foram mapeadas 92 propriedades e anotados seus sistemas de captação de água.

Segundo Faganello et al. (2007), a entrevista é um processo de interação social entre duas pessoas, onde o entrevistador visa obter informações do entrevistado, a partir de um roteiro de entrevista, constando tópicos previamente estabelecidos de acordo com a problemática central. Além das informações gerais do entrevistado, a abordagem quantitativa semi-estruturada foi adotada porque buscou-se mensurar e analisar as relações a cerca do uso da água e, semi-estruturada, por ter um caráter menos rígido, com perguntas abertas, possibilitando o entrevistador acrescentar perguntas de interesse que venham a surgir.

Concomitantemente à realização das entrevistas, foram sendo plotadas, em campo os locais visitados, sobre a imagem de satélite da bacia impressa em papel. Utilizou-se uma imagem Ikonos, colorida, de 1m de resolução espacial, obtida em abril de 2002. Os dados levantados nos questionários foram adicionados sobre a imagem digital através do programa VICON/UFRJ (Vigilância e Controle) e SAGA/UFRJ (Sistema de Análise Geo-Ambiental), também usados para georreferenciar a imagem e plotar as propriedades, criando um banco de dados georreferenciado.

Com os dados digitalizados e exportados do VICON/SAGA para o software Excel, partiu-se para a análise estatística dos resultados, através da elaboração de tabela e gráficos, a fim de diagnosticar usos e sistemas de captação de água empregados na produção agrícola na bacia.

QUESTIONÁRIO DO PROJETO CÓRREGO SUJO – TESE MSC – LEONARDO BRUM

Propriedade: _____

Data: ___/___/___ Nome do entrevistado:_____

Entrevistador: _____ Nº do questionário_____

1. Qual a principal atividade de produção da propriedade?_____
_____

Se pecuária: Leite____ Corte____ Quantas cabeças____ Quantos litros____
Se agricultura: Qual (is) produto(s) _____

2. Qual o tipo de agricultura? ( )Orgânica ( )Hidropônica ( )Tradicional
( ) Outros_____

3. Possui irrigação? Tipo?_____
( ) Bombeamento ( )Por Gravidade

4. Qual (is) tipos de cultivos que são irrigados?
_____

5. Quantas vezes ao dia é feita a irrigação? Período Seco (Inverno)_____
Período Úmido (Verão)_____

6. Quantas bombas são utilizadas na propriedade? _____ ( )Elétrica ( )Diesel

7. Marca da bomba_____ 8. Potência da bomba_____

9. Local de bombeamento ( )Rio ( )Poço

10 Observações:
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Figura 5.1 – Questionário quantitativo semi-estruturado aplicado na bacia

5.3) Quantificação da Captação de Água para Irrigação

Conhecidas e avaliadas estatisticamente as diferentes técnicas de irrigação usadas na bacia, e diagnosticada dificuldade de mensurar a quantidade de água captada, seja por sistemas de bombeamento precários, mal dimensionados ou mesmo por sistemas que não utilizam bombas (por gravidade), partiu-se então, para a quantificação da entrada de água para o cultivo. Neste caso, foi considerada como adição de água para o cultivo a quantidade de água fornecida por um aspersor diretamente ao cultivo, conforme os componentes do sistema de irrigação empregado. Assim, foram mensurados 11 sistemas de irrigação para fins de comparação: 3 por gravidade; 4 com bombeamento elétrico; 4 com bombeamento a diesel. Os experimentos contaram com a instalação de 16 pluviômetros, construídos artesanalmente em tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, que foram dispostos radialmente a cada 45º e em torno do aspersor (figura 5.2) sobre pequenas plataformas de madeira niveladas (figura 5.3), perfazendo duas circunferências. Considerou-se como raio de ação de um aspersor individualmente, a distância média entre dois aspersores, chamado aqui de raio de aspersão. Ressalta-se que todos os experimentos foram feitos com o aspersor Agropolo NY 30^0, que foi o único modelo verificado em todas as propriedades. Após autorização do agricultor para realizar o experimento, mediu-se em campo o raio de aspersão e fez-se a devida distribuição dos 16 pluviômetros. Pronta a instalação dos pluviômetros, o sistema de irrigação foi ligado por 10 minutos e o volume de água coletado após este turno de rega, foi lido em provetas plásticas de 250 mL.

Para apresentação dos dados, primeiramente foi utilizado o programa Autocad para elaboração de dois raios, um de 5 e outro de 10 metros, dispondo retas a cada 45^0, gerando coordenadas x e y para posicionamento dos pluviômetros e z para altura da precipitação registrada em campo. A partir disso foram lançadas as

coordenadas no programa Surfer 7.0 onde foram elaboradas as isolinhas de precipitação.

Figura 5.2 – Experimento para mensuração dos volumes de água da irrigação por aspersão, distribuição ao redor do aspersor.

Figura 5.3 – Detalhe do pluviômetro artesanal utilizado.

Além disso, a partir desses valores de chegada de água ao cultivo, buscou-se o volume de água retirado do sistema para fins de irrigação, para então, relacionar com a oferta do canal fluvial. Foi feita uma média da água inserida nas áreas de cultivo, a partir, dos valores encontrados nos 11 ensaios de aspersão. Esse valor foi multiplicado pela área de agricultura da bacia (figura 6.2), disponibilizada pelo mapeamento de uso do solo. Como o tempo de rega total em um dia é de 20 minutos, no final ainda multiplicamos por dois o resultado da equação. Com isso chega-se a um volume de água retirado pela irrigação, conforme equação a seguir:

$$V_{RET(m^3)} = 2 \text{ x } [\text{Irrigação (m) x Área Agrícola } (m^2)]$$

Consideramos o acionamento da precipitação artificial todos os dias que não apresentam eventos de precipitação ou que estes, não ultrapassem 2 mm de chuva.

5.4) Precipitação

No Brasil, onde a absoluta maioria da precipitação (mais de 99%) cai sob forma de chuva (raramente granizo), mede-se convencionalmente a precipitação por meio de aparelhos chamados pluviômetros e pluviógrafos (Santos *et al.* 2001).

Buscando compreender o regime de chuvas da bacia estudada (entrada de água no sistema), foram utilizados quatro pluviômetros, três convencionais do tipo "Ville de Paris" e um automático com dispositivo de datalogger (Figuras 5.4 e 5.5). Um convencional foi instalado no alto curso da bacia, considerada estação pluvio-fluviométrica alto curso, além de estar próximo das parcelas de escoamento que visam entender a relação chuva-escoamento-infiltração. Outro convencional foi instalado na estação médio curso e, outro automático e um convencional na estação instalada no exutório da bacia, considerada estação baixo curso. (Figura 5.6).

Diariamente três leitores de campo, moradores da bacia, realizavam as leituras dos instrumentos e numa periodicidade mensal eram retirados os dados da estação automática, que estava programada para registrar dados de 10 e 10 minutos.

Para fins de comparação foram considerados dados médios mensais de chuva das estações de Teresópolis e Nova Friburgo ao entorno da bacia, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia Sexto Distrito – RJ, para os anos entre 1995 e 2003.

No sentindo de entender a relação entre a precipitação e a resposta do nível d'água no canal, partiu-se para analisar a intensidade das chuvas em alguns eventos de precipitação na bacia. Intervalos de chuva inferiores a 30 minutos foram considerados como eventos únicos. Obteve-se a intensidade da chuva, dividindo o total de chuva pelo tempo de duração do evento que possibilitou a escolha dos eventos mais importantes e que foram analisados individualmente.

Figura 5.4 – Estação pluvio-fluviométrica instalada no baixo curso na bacia.

Figura 5.5 – detalhe da estação automática pluvio-fluviométrica Linígrafo Flex e b) retirada de dados mensal.

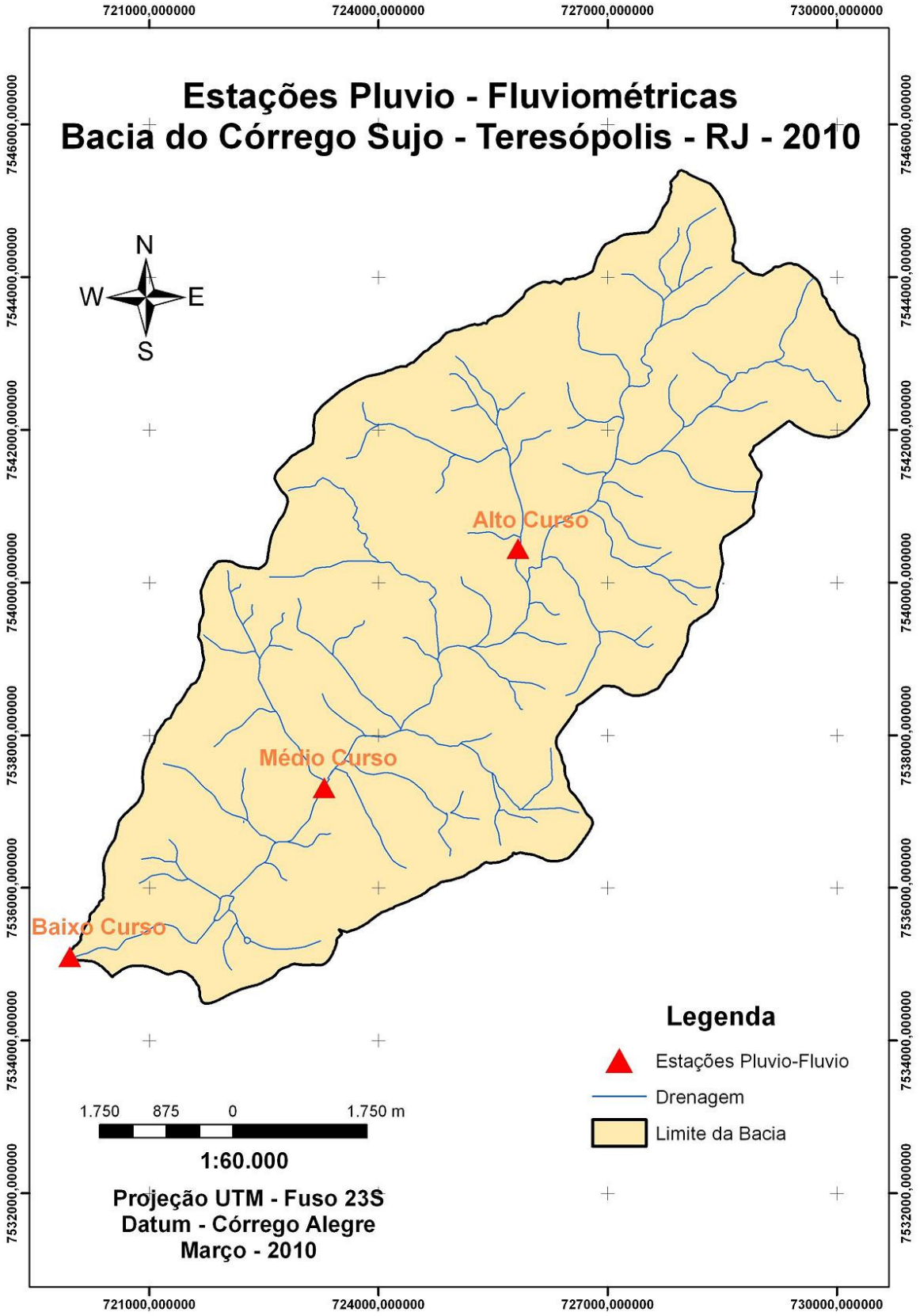


Figura 5.6 – Mapa de localização das estações pluvio-fluviométricas instaladas na bacia do Córrego Sujo.

5.5) Escoamento Superficial e Infiltração

Para estimar a infiltração e o escoamento superficial foram utilizadas quatro parcelas de escoamento do tipo Gerlach com 5 metros de comprimento, 2 metros de largura e 0.30 m de altura em quatro diferentes áreas, onde cada uma representa um dos usos do solo encontrados na bacia (5m x 2m = $10m^2$) (figura 5.7). Todas estão situadas em encostas com inclinação entre 12^0 e 14^0. São eles: (1) Pastagem (figura 5.8), (2) floresta secundária inicial, (3) permacultura (ou Agro Silvicultura) de cítricos e (4) Agricultura convencional de hortaliças (figura 5.9). Estas parcelas possuem calhas coletoras do fluxo superficial junto à base, que destinam a água a um reservatório onde é possível mensurar o que foi escoado. A partir daí, com os dados obtidos nos pluviômetros, contrapomos as intensidades da chuva com os volumes do escoamento para, então, por meio das diferenças, obtermos os valores da infiltração (Coelho Netto, 1994).

Estas estações foram operadas conjuntamente com o trabalho de iniciação científica e conclusão de curso – Parâmetros Hidrológicos e Erosivos em Parcelas Experimentais, Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ) (MENEZES, 2009) e a Dissertação de Mestrado intitulada – Estudo de Erosão pela Análise de Sucção e Escoamento Superficial na Bacia do Córrego Sujo (Teresópolis, RJ) (NACINOVIC, 2009) e.

Nos eventos de precipitação o leitor de campo da estação Alto Curso realizou as leituras das parcelas

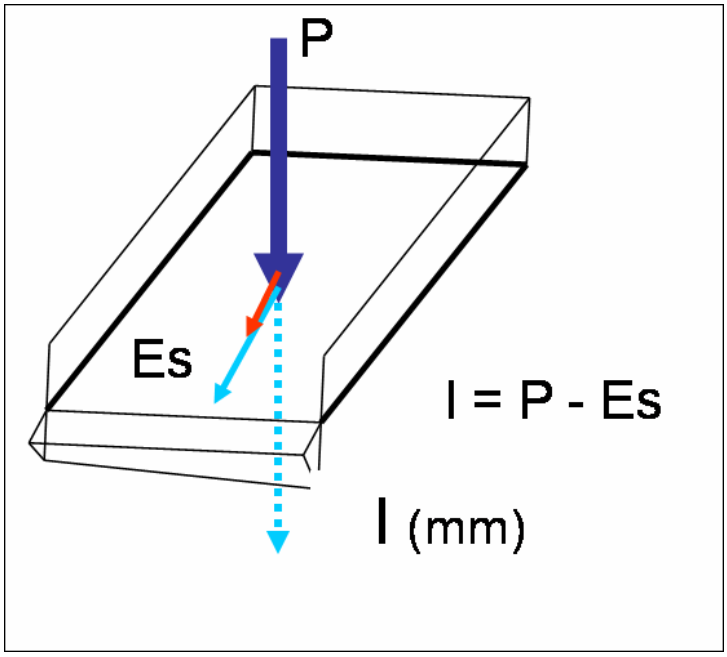


Figura 5.7 – Esquema da Parcela de escoamento do tipo Gerlach.

Figura 5.8 – Parcela hidro-erosiva na área de agricultura instalada na bacia do Córrego Sujo.

Figura 5.9 – Parcela hidro-erosiva na área de pastagem instalada na bacia do Córrego Sujo.

5.6) Fluviometria

O procedimento fluviométrico consiste em obter a variação da altura linimétrica (níveis de água) e vazões ao longo do tempo em uma seção transversal de rio. Uma série de alturas linimétricas é obtida através da leitura de uma régua instalada no canal fluvial por um observador de campo ou aparelho. Nesta pesquisa, foram instaladas, na bacia, três estações fluviométricas (figura 5.10), que contaram com leituras diárias das réguas as 7:00 e 17:00 horas (figura 5.11) e ainda, a estação baixo curso foi acrescida de um sensor de nível da água acoplado a um datalogger que registrava dados de 10 em 10 minutos (figura 5.5 e 5.6).

Para obtenção da variação das vazões ao longo do tempo é necessário construir uma curva que relaciona altura linimétrica e vazões diretamente mensuradas no canal fluvial, chamada curva-chave. Esta curva é obtida através de medidas amostrais de vazão ao longo do tempo no local de observação dos níveis de água (TUCCI, 1993).

Figura 5.10 – Instalação da seção de réguas linimétricas nas estações baixo (a e b) e alto curso (c).

Figura 5.11 – Seção de réguas linimétricas na estação alto (a) e médio curso (b).

Medição de vazão é o processo experimental em campo, utilizado para determinar a vazão de um canal fluvial. A vazão ou descarga de um rio é o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo (em geral em segundo) (Santos et al. 2001).

Há diversos métodos para medição de vazão. Aqui utilizamos o método da meia seção com micro molinete hidrométrico Global Water FP 201 onde as vazões são calculadas multiplicando-se a velocidade média na vertical pela profundidade na vertical multiplicada pela soma das semi-distâncias às duas verticais adjacentes (Santos et al. 2001).

A seguir será mostrado, passa a passo, o processo de cálculo pelo método da meia seção, com base no esquema mostrado na figura 5.12:

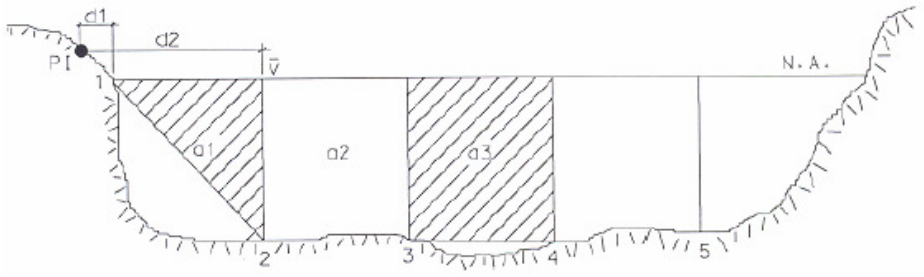


Figura 5.12 – Esquema de cálculo da meia seção (Fonte: Santos et al. 2001)

Para o calculo da descarga liquida utiliza-se do seguinte procedimento:

a)Cálculo das velocidades médias nas verticais;

b) Cálculo das velocidades médias nos segmentos:

$$\overline{v_{(a1)}} = (\overline{v_{(1)}} + \overline{v_{(2)}})/2 \quad \overline{v_{(a2)}} = (\overline{v_{(2)}} + \overline{v_{(3)}})/2$$

c) Cálculo das áreas dos segmentos:

$$a_1 = (d_2 - d_1) * [(p_2 + p_1)/2] \quad a_2 = (d_3 - d_2) * [(p_3 + p_2)/2]$$

d) Cálculo das vazões nos segmentos:

$$q_{a1} = \overline{v_{a1}} * a_1 \quad q_{a2} = \overline{v_{a2}} * a_2$$

e) Cálculo da vazão total:

$$Q = \sum q_i$$

f) Cálculo da área total:

$$A = \sum a_i$$

g) Cálculo da velocidade média:

$$\overline{V} = Q / A$$

h) Cálculo da largura do rio:

$$L = d_n - d_1$$

i) Cálculo da profundidade média do rio:

$$P = A / L$$

As medições de vazão foram realizadas nas três estações em uma periodicidade mensal com objetivo de contemplar períodos de cheias e estiagens (Figuras 5.13 e 5.14).

No sentindo de contrapor com os volumes de água retirados do sistema pela irrigação (demanda), transformou-se os valores da medição de vazão em campo da Estação Baixo Curso (exutório da bacia), para os meses entre junho e dezembro de 2009, em vazão diária (volume de água por dia). Consistiu em multiplicar a vazão em m^3/s, de cada um desses meses, descrita na tabela 05 por 86.400 segundos, chegando a um valor médio de volume de água-dia disponível no canal para os respectivos meses (oferta). Com a medição de vazão em campo realizada em 05 de junho, retiram-se o volume diário para junho, assim como a de 23 de julho, para julho, e assim, sucessivamente.

Figura 5.13 – Medição de vazão com molinete hidrométrico na estação Alto Curso.

Figura 5.14 – Medição de Vazão com molinete hidrométrico na estação Baixo Curso.

6) RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1) Mapeamento do Uso do Solo e Cobertura Vegetal

As visitas a campo na Bacia Hidrográfica do Córrego Sujo mostram que esta é caracterizada pela predominância de pequenas propriedades rurais, que apresentam seus cultivos principalmente nos fundos de vale. O levantamento de Uso do Solo e Cobertura Vegetal (figura 6.1) elaborado com a imagem Ikonos (2001/2002) ratificou as observações feitas em campo quanto ao diversificado mosaico da paisagem. O mapa confirma que a agricultura está distribuída em sua grande maioria ao longo dos canais.

A cobertura vegetal predominante é a gramínea estando presente em 40% da área da bacia (figura 6.2), o que é uma contradição quando comparado às atividades predominantes na região, sendo a pecuária responsável por somente 3% das atividades produtivas. Situação inversa ocorre com a agricultura, que ocupa somente 5,9% da área da bacia, sendo a principal atividade econômica em termos de número de agricultores. Remanescentes florestais contam com 29 % da área da bacia.

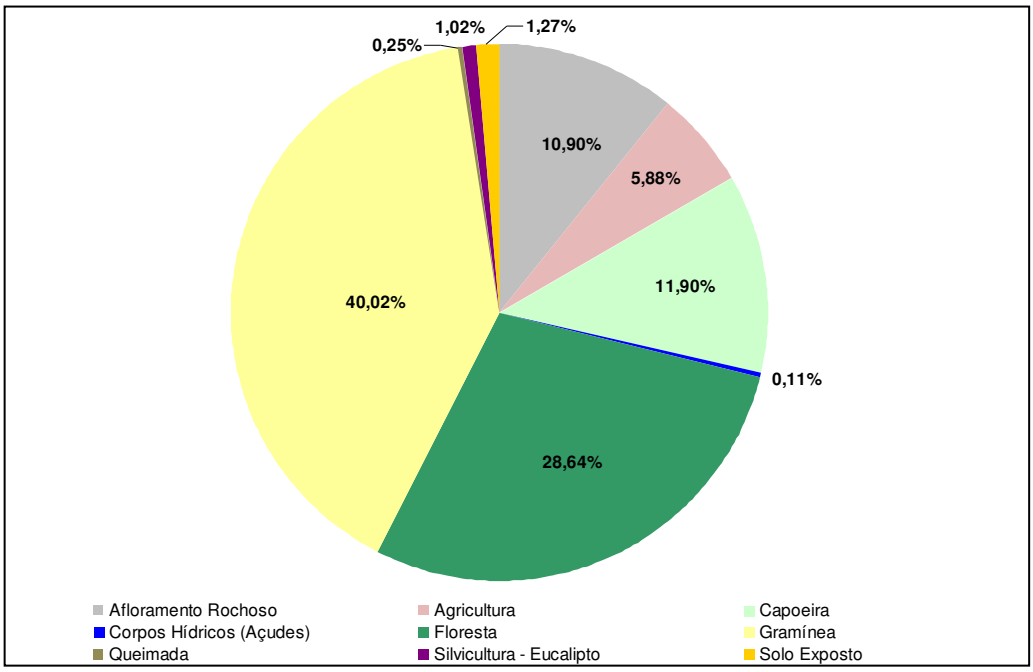


Figura 6.2: Percentuais de Uso do Solo e Cobertura Vegetal – 2001.

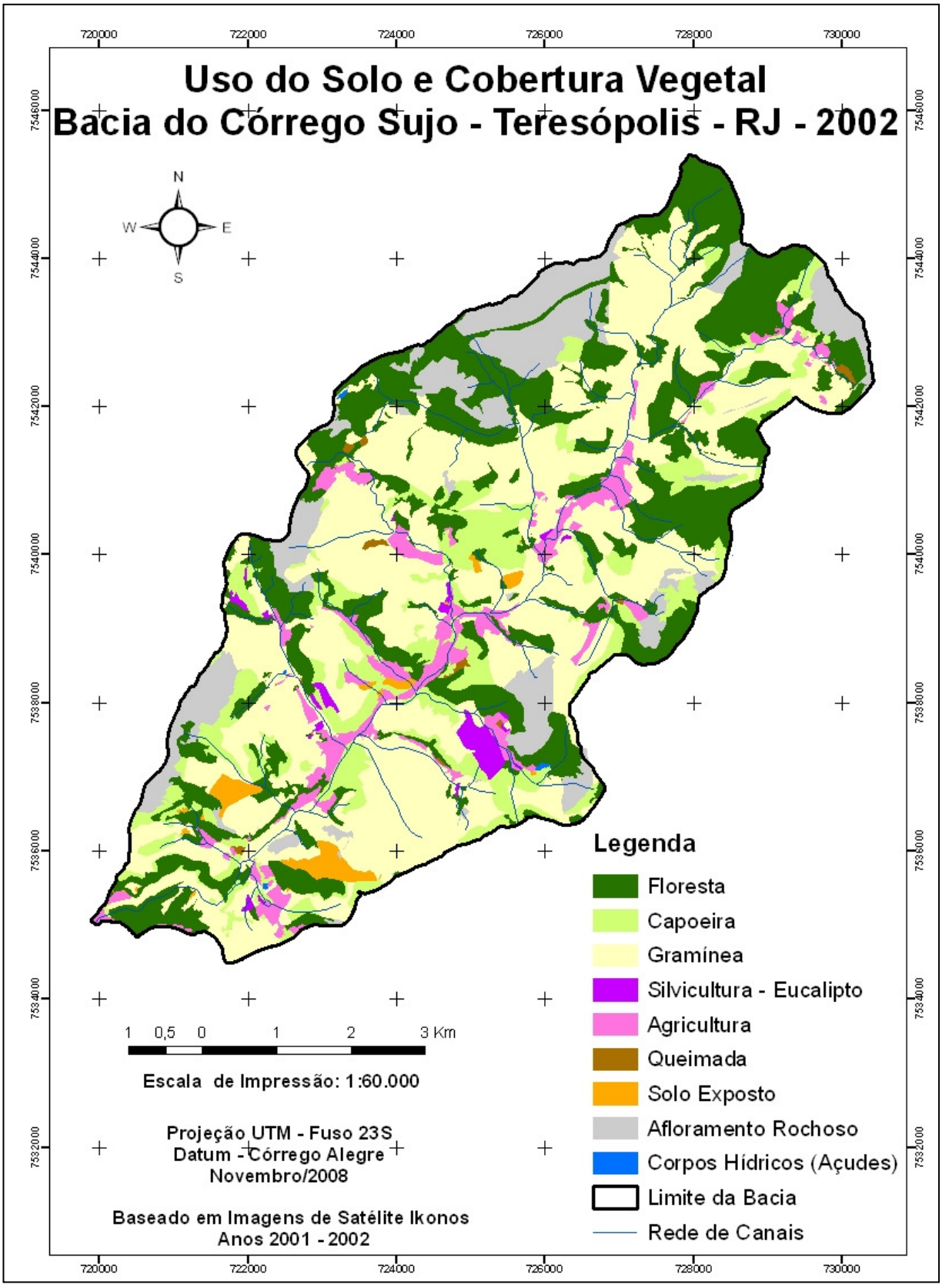


Figura 6.1: Uso e Cobertura da Bacia do Córrego Sujo – 2001. Fonte: Mapeamento elaborado em conjunto com o trabalho de Inciação Científica da aluna Ingrid Araújo.

6.2) Mapeamento e Caracterização dos Usuários de Água

A partir das entrevistas e através da plotagem das 92 propriedades identificadas em campo na imagem de satélite da bacia foi observado que os usuários se localizam predominantemente junto aos canais fluviais (figura 6.3), sendo que, ao longo do canal principal é mais expressiva a retirada de água, demonstrando a fundamental importância da irrigação como insumo da produção agrícola. Este fato também é influenciado pelas características geomorfológicas da bacia, onde predominam encostas íngremes e vales estreitos (figura 4.3), nos fundos de vale aplainados tornam-se mais disponível ao acesso à água e à mecanização do solo. Cabe ainda ressaltar que esta é uma característica da maior parte das bacias onde há atividade olerícola na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, em especial na bacia do rio Piabanha. Deste modo, fica evidente que a bacia do Córrego Sujo como é área representativa desta condição ambiental da região serrana e que se mostra relevante para pesquisas sobre gestão e uso da água.

Os dados obtidos nas entrevistas e registrados em campo, sintetizados nos gráficos da figura 6.4, apontam que 96% da produção rural na bacia está associada à olericultura (agricultura convencional). Neste tipo de produção fica evidente que o abastecimento dos sistemas agrícolas convencionais advém principalmente do escoamento superficial: rio, nascente ou represamento/açude (figura 6.4b). Dos diferentes tipos de irrigação observados, há nítido predomínio dos sistemas por aspersão (figura 6.4c), que na maior parte dos casos (62%) retiram água dos canais através de bombeamento. Entretanto, dentre as 92 propriedades rurais visitadas, 38% utilizam-se apenas da gravidade como impulsionador do sistema de irrigação, ou seja, não possuem bombeamento e captam água diretamente em nascentes situadas em cotas muito elevadas à montante dos cultivos.

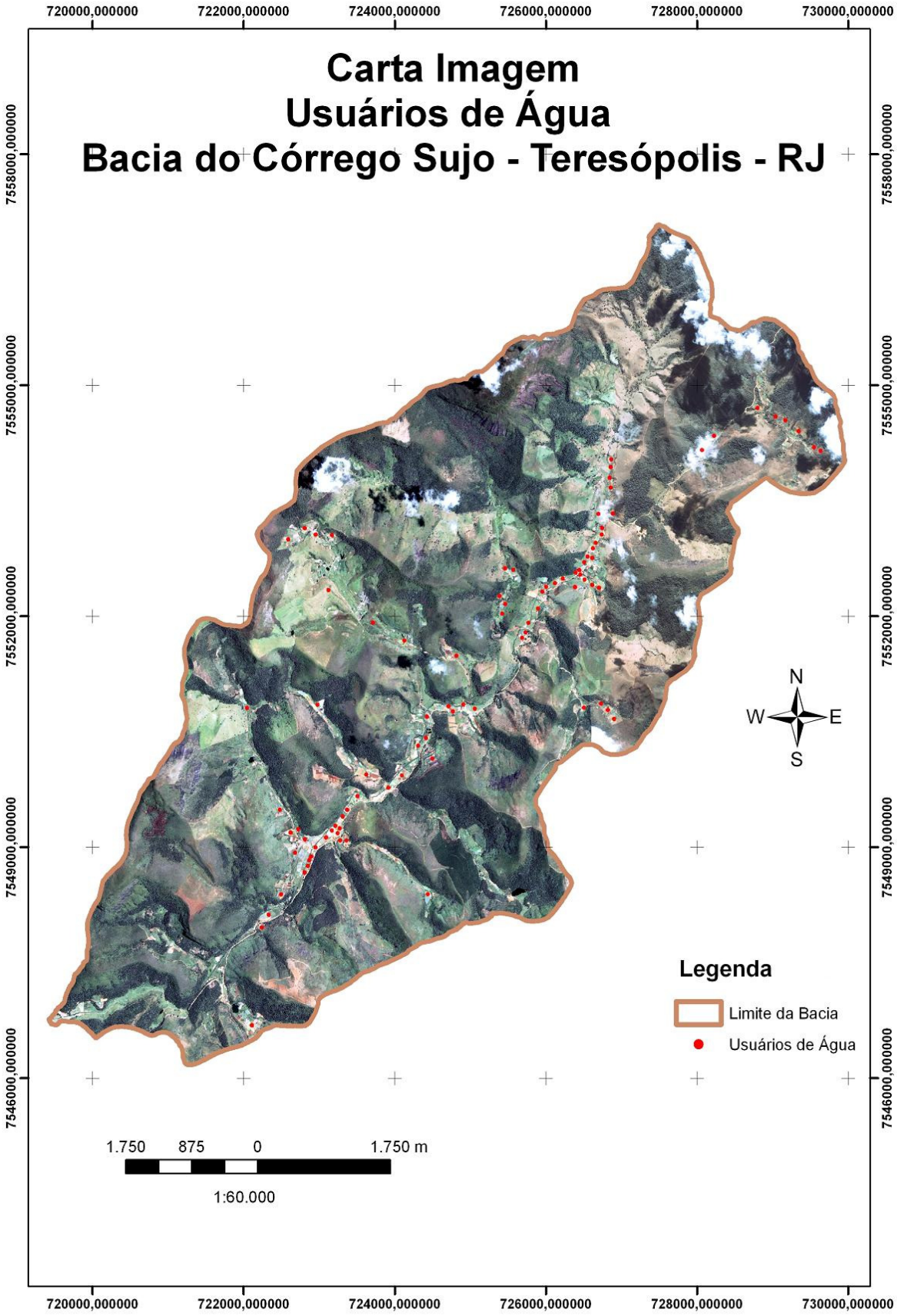
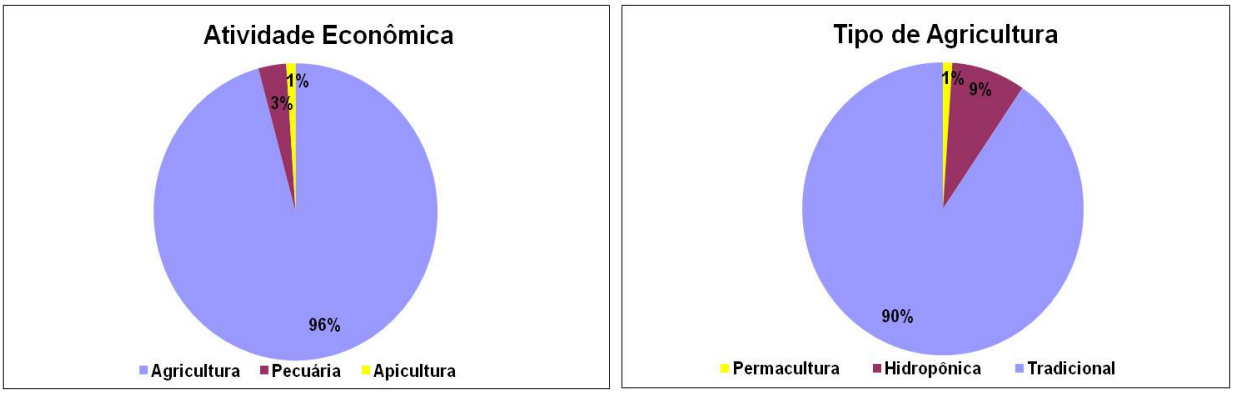
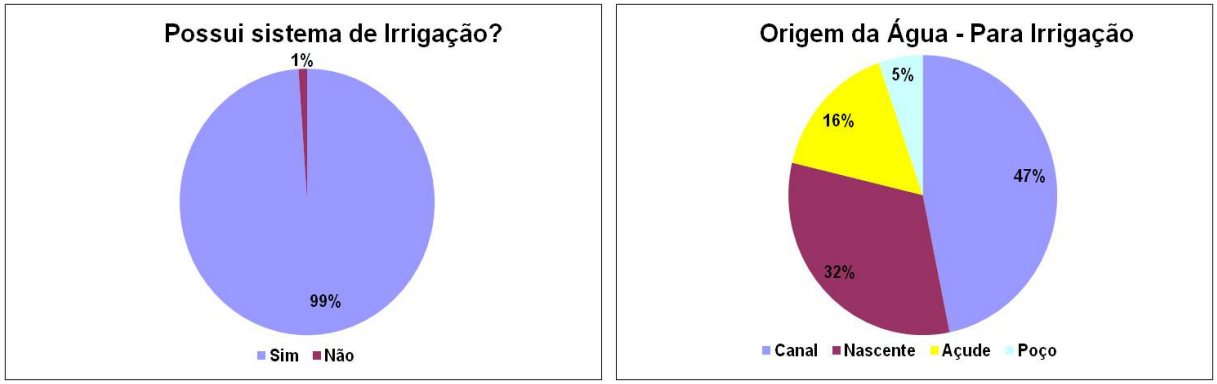


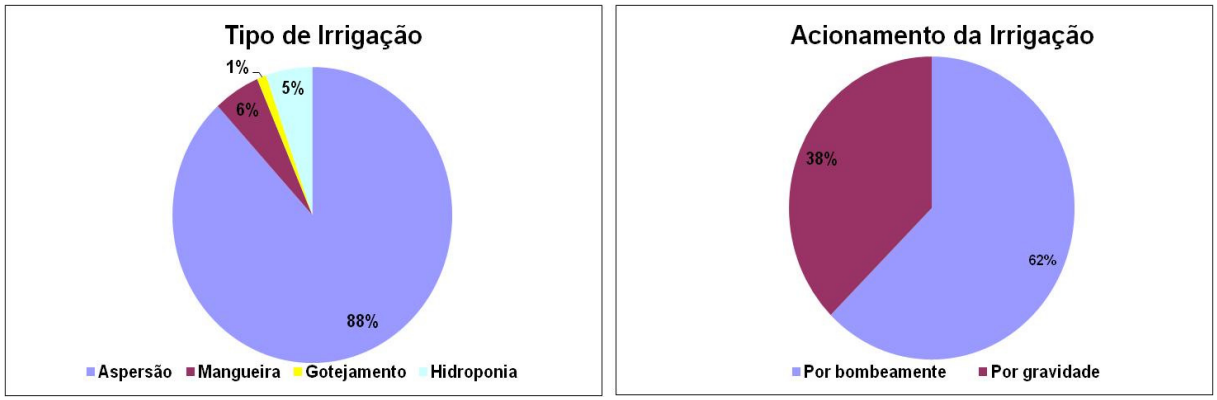
Figura 6.3 – Mapa de localização dos usuários de água da bacia do Córrego Sujo.



(a)



(b)



(c)

Figura 6.4 – Diagnóstico das atividades agrícolas da bacia (a), da origem da água utilizada na produção agrícola (b) e dos sistemas de irrigação empregados (c).

Quanto aos principais cultivos na bacia do Córrego Sujo, expressos na figura 6.5, foi registrada em quase metade das propriedades a plantação de alface e brócolis, seguidos da plantação de chuchu e o feijão como a cultura menos expressiva. Estes dados ressaltam a predominância da produção olerícola na bacia.

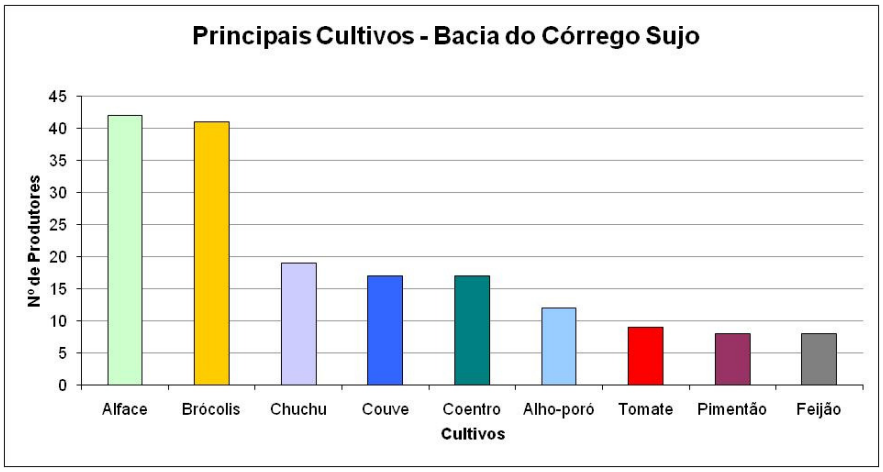


Figura 6.5 – Principais olerícolas cultivadas na Bacia.

Devido à expressiva quantidade de sistemas de aspersão por bombeamento (62%), optou-se pela investigação das diferentes marcas e potências das bombas utilizadas (tabela 01). Observou-se uma preferência pelas bombas elétricas em relação as acionadas por diesel, pois muitos proprietários de bombas a diesel demonstraram interesse em adquirir equipamentos elétricos, alegando maior economia frente aos gastos com a irrigação. As potências das bombas utilizadas variam entre 1 a 20 CV (figura 6.6), porém observa-se que quase a metade (45 %) está na faixa de 7,5 a 15 CV, enquanto sistemas com até 5 CV representam 20 % dos casos. A classe que apresentou o maior número de casos foi a de 15 CV, atingindo 18% dos casos observados. Entretanto, em cerca de 20% dos casos, não foi possível identificar marca ou classe de potencia do bombeamento, por serem sistemas muito antigos e sem especificações técnicas ou até mesmo por desconhecimento total do agricultor. Estas faixas de potência mostraram-se fundamentais para distinção de sistemas que incorporam mais água à irrigação, conforme visto nos experimentos que serão discutidos mais adiante.

Tabela 01 – Diagnóstico das bombas hidráulicas utilizadas na produção agrícola.

MARCA DA BOMBA	ALIMENTAÇÃO	POTÊNCIA	Nº DE CASOS	%
DANCOR	elétrica	1 CV	1	1,64
DANCOR	elétrica	2 CV	1	1,64
DANCOR	elétrica	3 CV	1	1,64
DANCOR	elétrica	5 CV	5	8,20
DANCOR	elétrica	7,5 CV	4	6,56
ERBELE	elétrica	10 CV	1	1,64
ERBELE	elétrica	15 CV	2	3,28
FAL	diesel	18 CV	3	4,92
FAL	diesel	11 CV	1	1,64
FAL	elétrica	7,5 CV	1	1,64
FAL	elétrica	15 CV	2	3,28
FAL	elétrica	10 CV	3	4,92
FAL	diesel	7 CV	1	1,64
FAL	elétrica	5 CV	3	4,92
IMPOSSÍVEL de IDENTIFICAR	elétrica ou diesel	Não identificado	12	19,67
INAPI	elétrica	10 CV	1	1,64
KOHL BACH	elétrica	15 CV	2	3,28
KOHL BACH	elétrica	20 CV	1	1,64
SCHINEIDER	elétrica	10 CV	3	4,92
SCHINEIDER	elétrica	7,5 CV	3	4,92
WEG	elétrica	3 CV	1	1,64
SCHINEIDER	elétrica	15 CV	4	6,56
WEG	elétrica	15 CV	1	1,64
WEG	elétrica	20 CV	1	1,64
YANMAR	diesel	9,5 CV	1	1,64
YANMAR	diesel	13 CV	2	3,28
			61	**100,00**

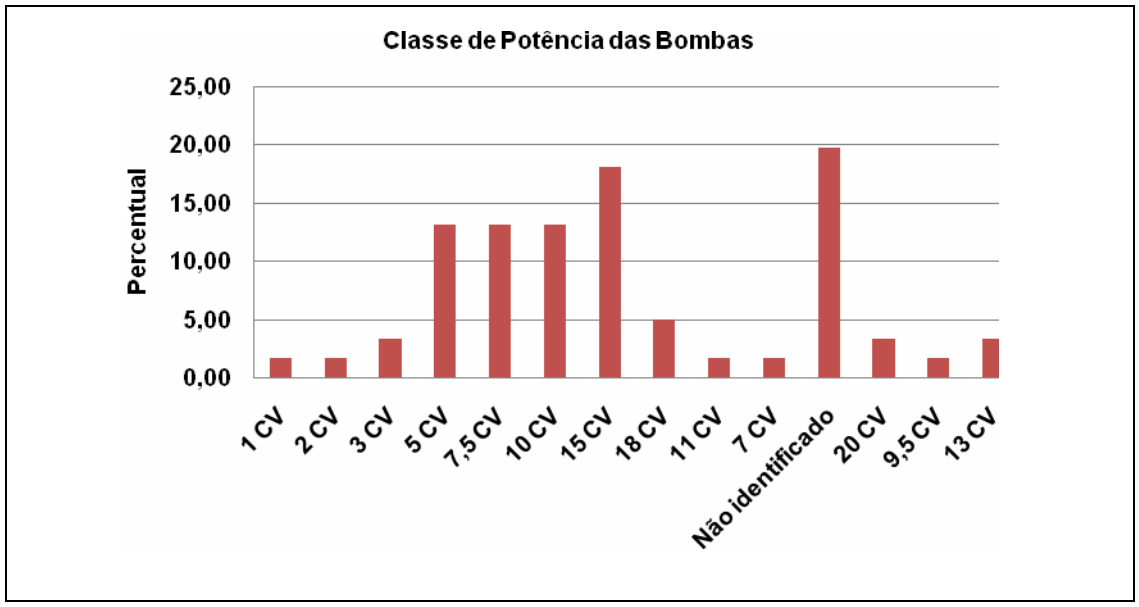


Figura 6.6 – Classes de potencia das bombas utilizadas nos sistemas de irrigação.

6.3) Quantificação da Captação de Água pela Irrigação

Diante da diversidade de marcas e potências encontradas, viu-se a necessidade da realização de experimentos que pudessem determinar a quantidade de água fornecida aos cultivos por um aspersor. Também foi considerado como importante a comparação entre sistemas por bombeamento e movidos à força gravitacional. Todos os aspersores observados foram da marca Agropolo NY30^{o}, facilitando a comparação entre as diferentes potências e energia de alimentação. Os sistemas de irrigação testados estavam em terreno predominantemente plano, com exceção do experimento indicado na figura 6.9 a.

Os resultados dos experimentos representados nas figuras 6.7, 6.8 e 6.9 norteiam a importância do conhecimento do local de captação da água e das classes de potência de bomba empregadas, a fim de permitir uma quantificação mais refinada dos volumes de água captados para a agricultura irrigada. A partir da metodologia usada nestes experimentos traçou-se a relação, antes desconhecida, de potência de bomba-sistema gravitacional-fornecimento de água. Também pode ser observado que não há uma variação muito expressiva na distribuição da irrigação em área.

O sistema de aspersão por gravidade consegue fornecer uma média de 1,5 mm a cada 10 minutos de irrigação (figura 6.7). Ressalta-se que 10 minutos de irrigação (duração do ensaio) é próxima às durações utilizadas pelos agricultores, conforme informaram tempo de rega entre 10 e 20 minutos, realizadas duas vezes ao dia. Entretanto, estas durações e quantidade de turnos de rega são altamente influenciadas pelas condições de temperatura, umidade e precipitação, que variam conforme a sazonalidade. Porém, através do contato com os agricultores, observou-

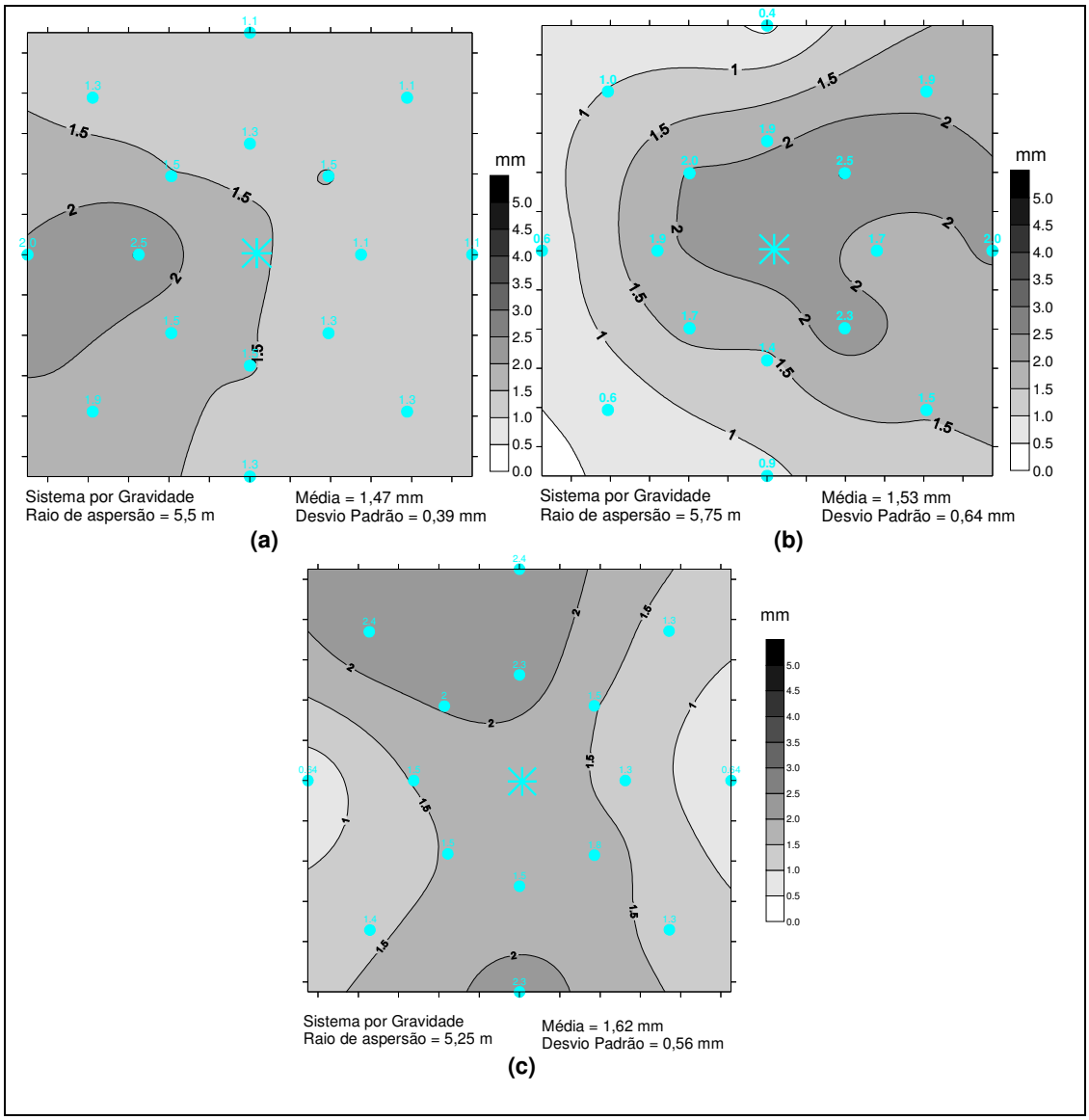


Figura 6.7 – Medição da quantidade de água irrigada (mm) e distribuição espacial da irrigação por aspersão, produzidos por sistemas a gravidade (a, b e c).

se que a precipitação é a principal determinante para acionamento dos sistemas de irrigação nas propriedades visitadas. Na figura 6.8 a, verifica-se que o fornecimento de irrigação para 5 cv é muito próximo aqueles dos sistemas por gravidade, configurando que as bombas de pequena potencia (20% dos casos) equivalem as irrigações de força gravitacional. Informações das entrevistas evidenciam conflitos entre proprietários que retiram água de áreas com nascente e que só utilizam sistemas gravitacionais, devido à intensa procura de muitos proprietários por esta condição ambiental. Em parte estes conflitos se dão devido ao baixo custo da

manutenção deste tipo de sistema de irrigação e, muitas vezes, devido à baixa disponibilidade de água (vazões reduzidas) dos canais submetidos a bombeamento.

As bombas entre 7,5 e 15 CV, 45% dos casos mapeados na bacia, produzem uma precipitação ao cultivo em torno de 2,5 mm em 10 minutos de rega (figuras 6.8 b, c e d e 6.9 b).

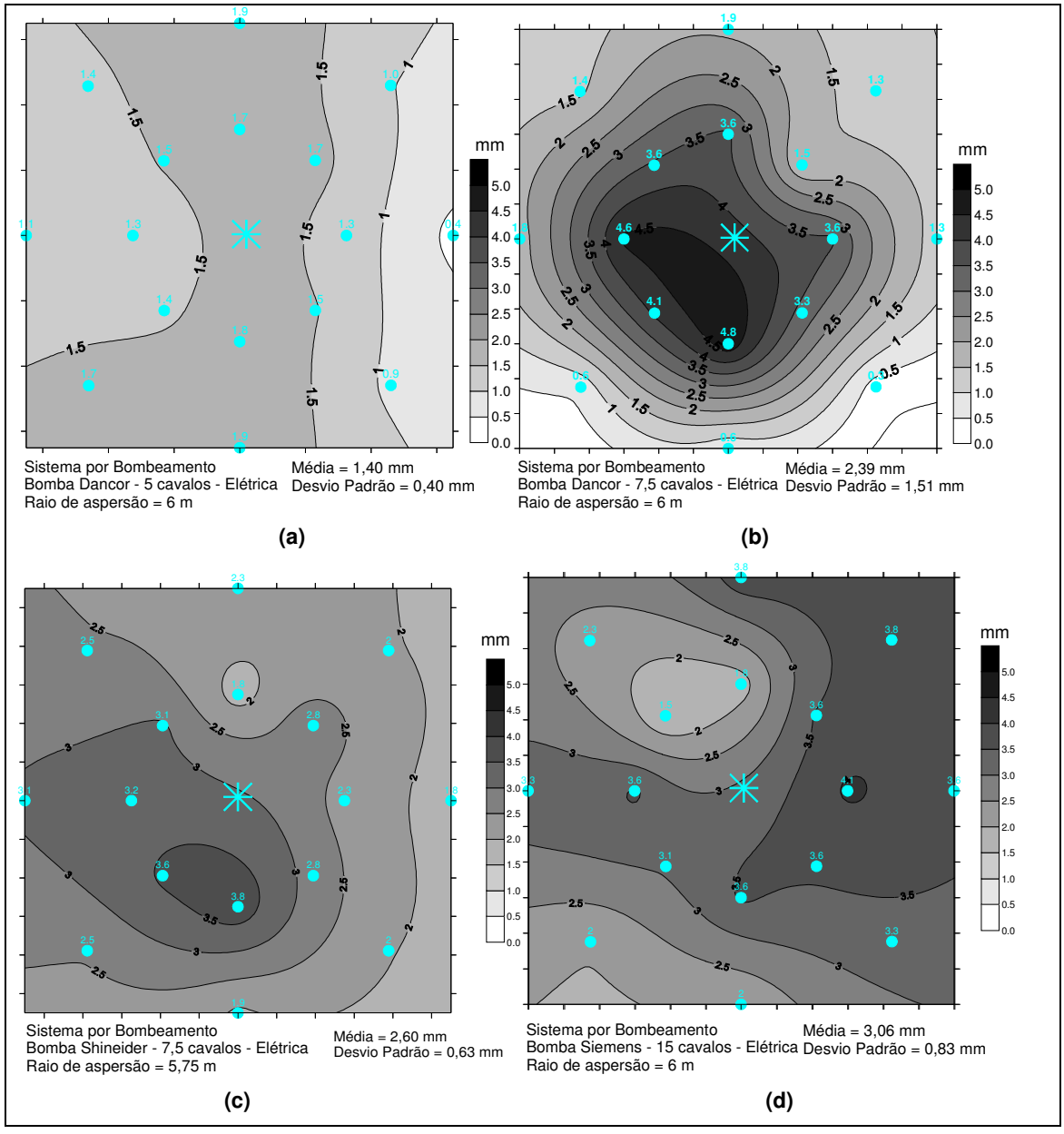


Figura 6.8 – Medição da quantidade de água irrigada (mm) e distribuição espacial da irrigação por aspersão, produzidos por sistemas elétricos (a, b, c e d).

Os maiores valores de irrigação foram encontrados em bombas de 18 CV (figuras 6.9 c e d), chegando a irrigar quase 4,0 mm em 10 minutos de rega.

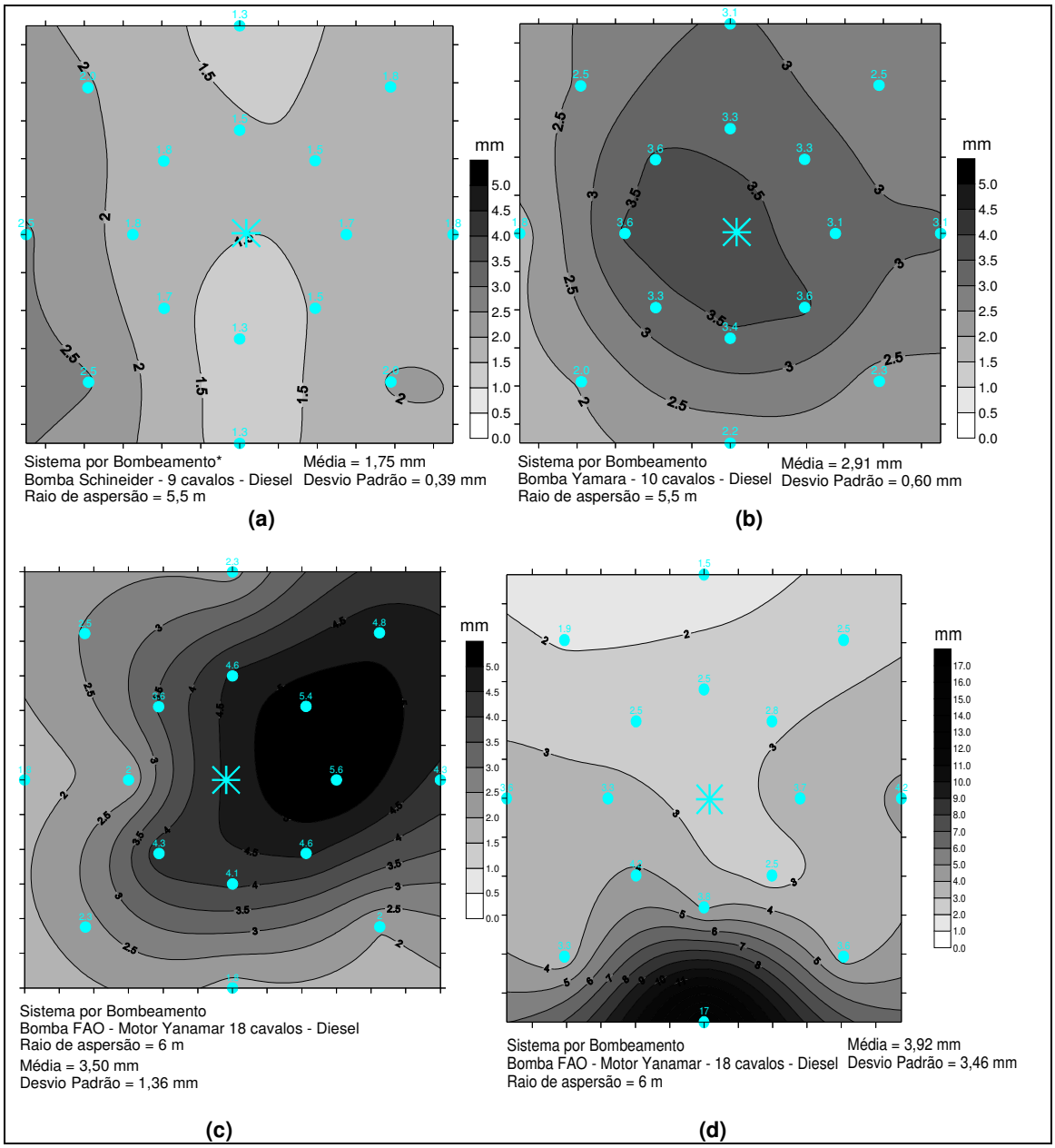


Figura 6.9– Medição da quantidade de água irrigada (mm) e distribuição espacial da irrigação por aspersão, produzidos por sistemas a diesel (a, b, c e d).

É importante destacar, que na figura 6.9 a, mesmo uma bomba de 9 CV ficou equivalente a irrigação por gravidade, pois o sistema de irrigação esta instalado em uma encosta de aproximadamente 35^{o} de inclinação e distante cerca de 50 m do canal fluvial. Cabe ressaltar que o ensaio mostrado na figura 6.9 d não apresentou distribuição da precipitação uniforme em área, devido à intensa velocidade do vento no momento do ensaio.

6.4) Resultantes Hidrológicas

6.4.1) Precipitação

O monitoramento das chuvas na Estação Alto Curso totalizou um período de 24 meses, entre janeiro de 2008 e dezembro de 2009. O objetivo era que o monitoramento fosse até fevereiro de 2010, porém por motivo de mudança de domicilio do leitor de campo e a dificuldade de encontrar outro leitor capacitado e em tempo hábil, os dados foram analisados até dezembro de 2009 (figura 6.10).

A estação Médio Curso, instalada desde abril de 2007 pela CPRM com parcerias para visitas de campo com o GEOHECO, permitiu o monitoramento da precipitação num período de 34 meses, entre maio de 2007 e fevereiro de 2010 (figura 6.11).

Já a estação Baixo Curso foi instalada no dia 24 de abril de 2009 (tanto convencional quanto automática), considerando como período monitorado entre maio de 2009 e fevereiro de 2010 (figura 6.12). Entretanto houve uma interrupção de 10 dias na leitura das chuvas do pluviômetro convencional no mês de julho, devido à troca de mudança de leitor de campo dessa estação.

Todos os resultados de precipitação acompanharam uma tendência regional, a partir da comparação com dados de chuva das estações Teresópolis e Nova Friburgo. Mostrou-se evidente a ocorrência de um período mais seco (menos úmido), aqui neste trabalho considerada como estação seca, entre os meses de abril e setembro, bem como uma estação mais úmida entre os meses de outubro e março. Agosto mostra-se como o mês mais seco para a bacia, enquanto dezembro ficou caracterizado como o mais úmido.

A fim de homogeneizar os dados e diante dos períodos mensurados em cada estação, buscou-se, como foco de análise, o período entre maio e dezembro de 2009, de modo a haver simultaneidade de dados para as três estações de medição.

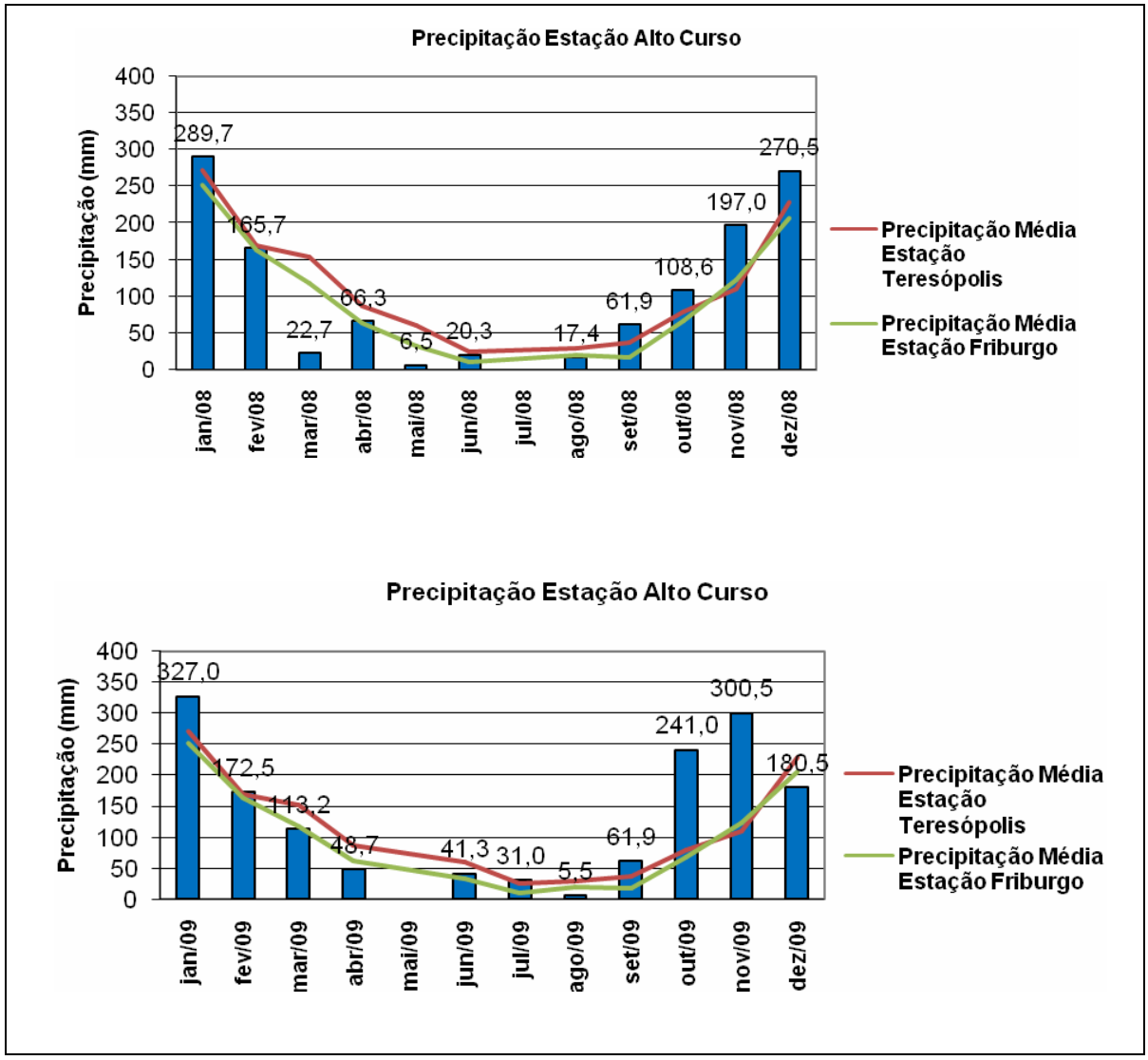


Figura 6.10 – Precipitação na estação Alto Curso e precipitação média regional para os anos entre 1995 e 2003.

Assim, num total de 245 dias analisados, ocorreram 87 dias chuvosos (35,5%) contra 158 dias sem chuva (64,5%). Neste período, contabilizou-se 862 mm de chuva na estação Alto Curso, 1059 e 967 mm nas estações médio e baixo curso, respectivamente. Nota-se um comportamento próximo da média regional observada entre 1995 e 2003, onde o acumulado de chuva entre os meses de maio a dezembro totalizaram 890 mm para estação Teresópolis e 769 mm para estação Nova

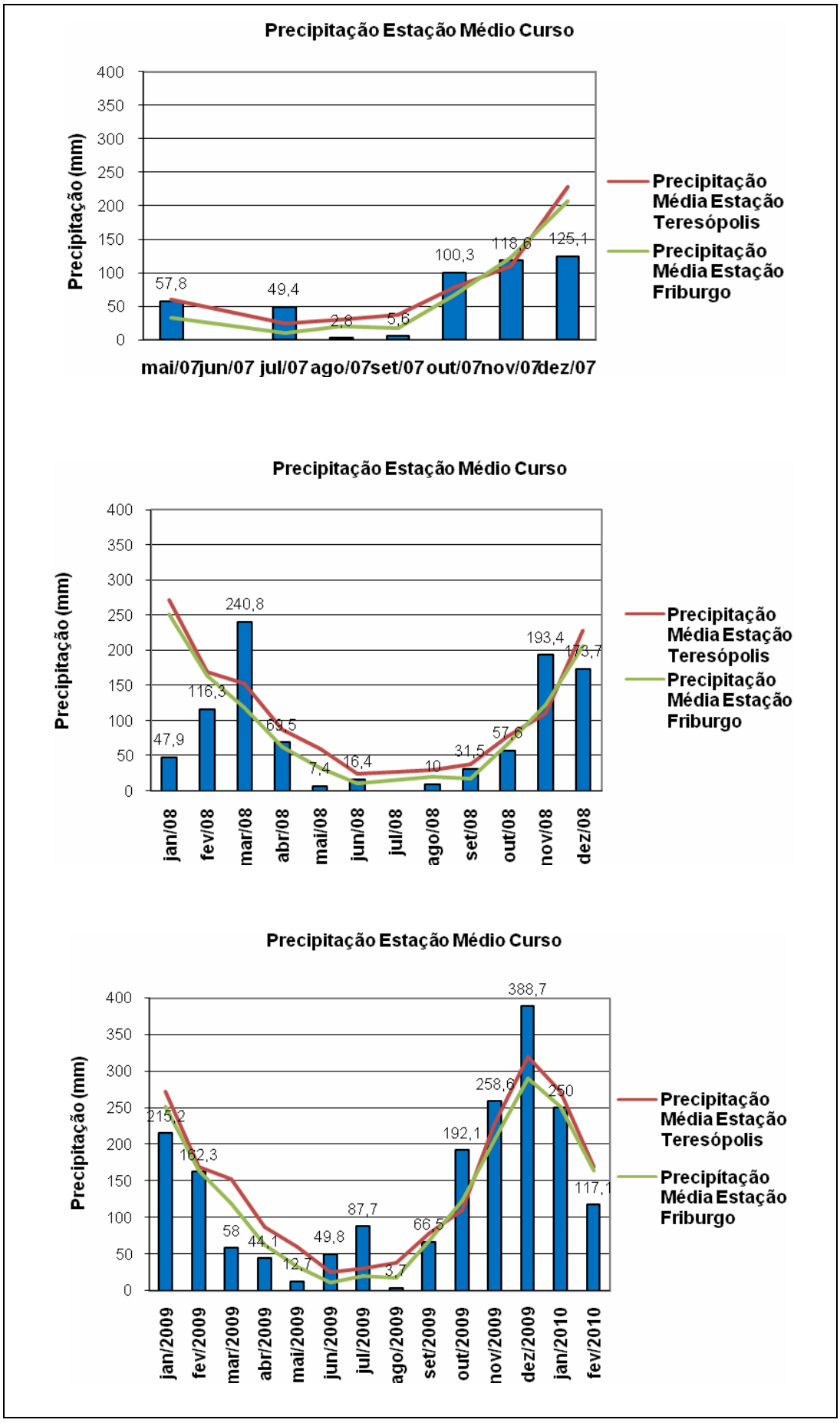


Figura 6.11 – Precipitação na estação Médio Curso e precipitação média Regional para os anos entre 1995 e 2003

Friburgo. Para as estações alto e médio curso que registraram uma série de dados mais ampla observou-se, para o ano de 2009 precipitação total de 1523 mm e 1539 mm respectivamente. Tais resultados também estão próximos à média anual regional para os anos de 1995 e 2003, que indicam para a estação Teresópolis 1569 mm e para estação Nova Friburgo 1365 mm.

O valor mais extremo de precipitação diária para a bacia alcançou 60 mm, considerando aqui a média das três estações, foi o mensurado pelos leitores de campo as 7:00hs do dia 05 dezembro de 2009. Com auxílio da estação automática, observou-se que este evento de chuva para estação baixo curso ocorreu entre 10:00 e 21:00 hs do dia 04 de dezembro, totalizando neste ponto 74 mm.

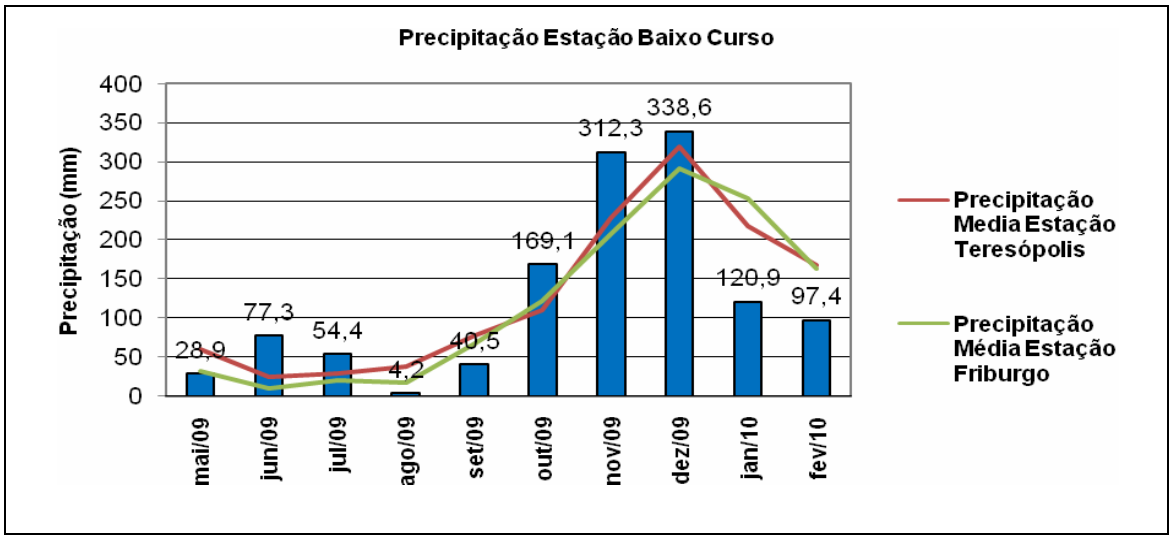


Figura 6.12 – Precipitação na estação Baixo Curso e precipitação média regional para os anos entre 1995 e 2003.

6.4.2) Escoamento Superficial e Infiltração

O monitoramento do escoamento superficial na bacia do Córrego Sujo foi feito no período entre março de 2008 e janeiro de 2009, com objetivo de contrapor com os dados de chuva e, desta maneira permitir o conhecimento do comportamento da infiltração.

De um modo geral, as parcelas que apresentaram valores mais elevados de escoamento superficial foram aquelas instaladas na agricultura (olericultura) e permacultura, enquanto os valores mais baixos foram observados na área de pastagem e de floresta (figura 6.13). Assim, verifica-se ordenamento inverso para as taxas de infiltração, conforme podemos observar nas figuras 6.14 e 6.15.

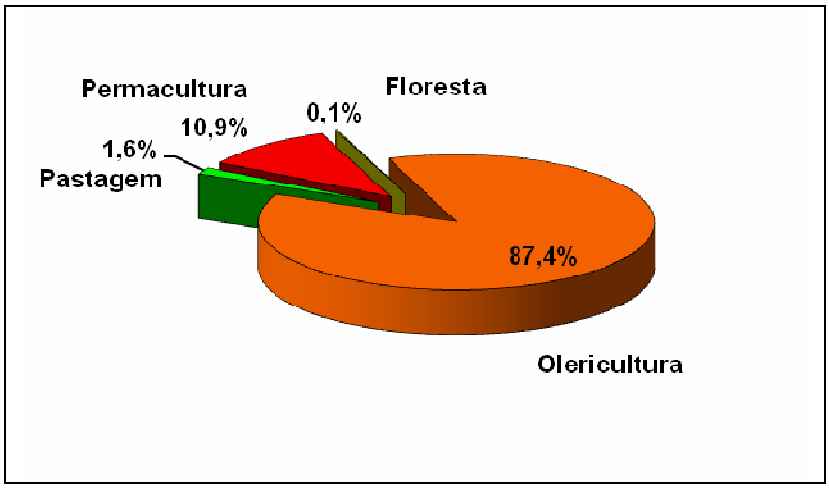


Figura 6. 13– Percentual do total escoado no período para cada uso do solo na bacia.

Os baixos valores de infiltração na agricultura eram esperados devido à freqüência de solo exposto e também pela baixa coesão, intensificando o escoamento superficial. Por outro lado, os elevados valores na área florestal podem ser atribuídos a condição de equilíbrio do sistema onde há integridade da serrapilheira, estabilidade dos agregados e da estrutura do horizonte A, demonstrando o papel da conservação florestal para o armazenamento de água no solo. Para um total de precipitação de 1.098 mm no período mensurado, ocorreu 108 mm de escoamento na parcela instalada na Olericultura. Nas áreas de permacultura, pastagem e sob domínio florestal os valores totais de escoamento atingiram: 14 mm, 2 mm e 0,2 mm, respectivamente (figura 6.14) .

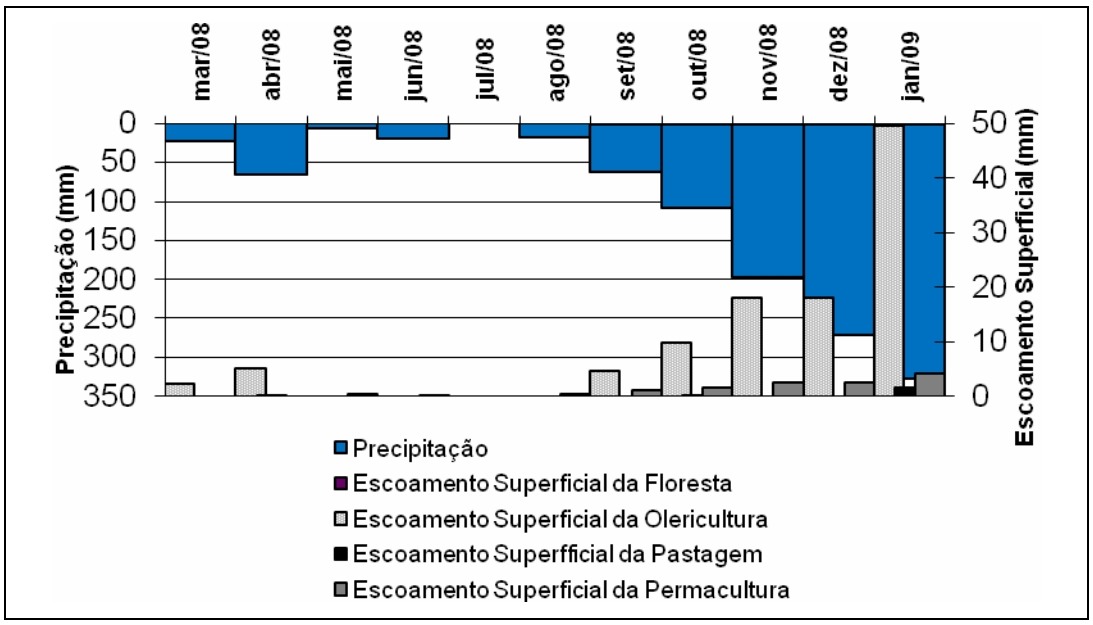


Figura 6.14 - Relação entre escoamento superficial e precipitações mensais nas quatro áreas mensuradas.

Analisando mais detalhadamente os dados de escoamento superficial na área de agricultura em dezembro de 2008 (figura 6.15), considerado o mês mais úmido na bacia , fica perceptível que a umidade antecedente tem importante papel nas taxas de infiltração. Por exemplo, o evento extremo de chuva no dia 17 de dezembro de 2008 chegou a 45 mm, porém não foi acompanhado das maiores taxas de escoamento, que para este evento foi de 2,5 mm. Os eventos extremos de escoamento foram observados a posteriori, com chuvas de 15 mm e escoamento de 3 mm no dia 20 deste mês e chuva de 30 mm e escoamento em torno de 4,5mm no dia 30 de dezembro. Desta maneira, quanto maior a umidade antecedente, menores serão as taxas de infiltração. Estas chuvas intensas poderiam ser responsáveis pela recarga do lençol freático, que alimentaria os canais nos períodos de estiagem e facilitariam o abastecimento da irrigação nos momentos mais críticos.

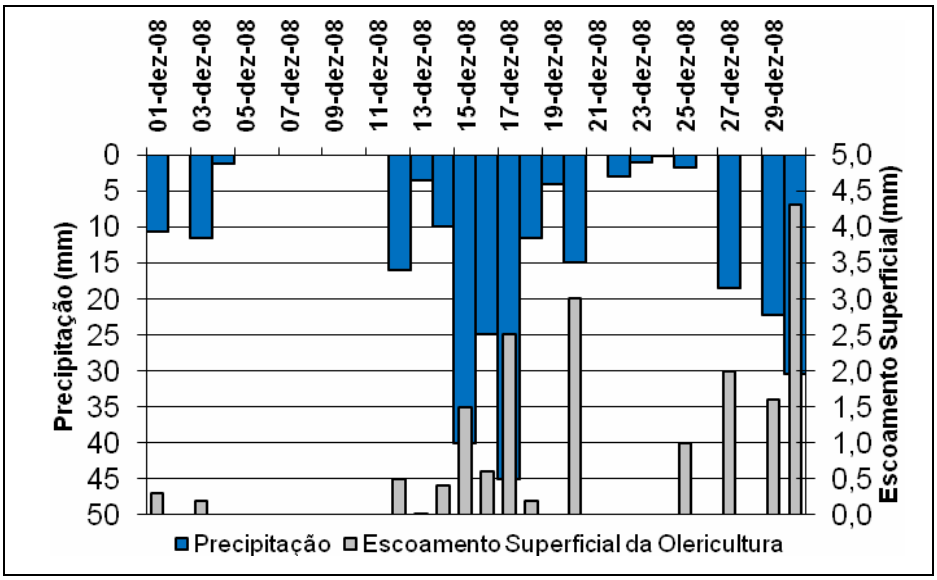


Figura 6.15 – Relação entre precipitação e escoamento superficial para mês de dezembro na área de olericultura.

6.4.3) Fluviometria

6.4.3.1) Relação Precipitação e Altura Linimétrica

Conforme relatado no item 6.4.1, as estações fluviométricas instaladas possibilitaram a comparação entre o alto, médio e baixo curso da bacia, através da análise dos dados obtidos entre maio e dezembro de 2009. Cabe ressaltar que as estações foram monitoradas em períodos variados. A do alto curso foi monitorada entre março e dezembro de 2009, a do médio curso entre maio de 2007 e fevereiro de 2009 e a do baixo curso entre maio de 2009 e fevereiro de 2010. Entretanto, como observado nos gráficos da Estação Baixo Curso houve uma breve interrupção na leitura da régua, por 10 dias, em julho de 2009 por conta de mudança de leitor de campo (entre o dia 14 e 27/07). Ainda na estação baixo curso, devido ao evento extremo de chuva em 05 de dezembro de 2009 ocorreu a destruição da régua linimétrica inferior, sendo possível apenas, a partir dessa data, a leitura dos eventos de cheia, quando a lâmina de água atingia a régua imediatamente acima (figura 6.16).

Com base nos gráficos da figura 6.16, observamos um comportamento das variações linimétricas simultâneas de montante a jusante, ficando nítido um fluxo de base mínimo entre os meses de maio e setembro. Obviamente que estes valores de fluxo de base sofreram influência da pluviosidade escassa durante a estação seca. Após setembro, com o aumento da freqüência e volumes de chuva que caracteriza o início da estação chuvosa inicia-se a elevação da vazão básica, estendendo-se entre outubro a fevereiro.

Quando relacionamos a linimetria no canal com a precipitação, expresso na figura 6.17, observa-se que nem sempre os eventos de chuva de maior volume mostram resposta imediata no nível de água do canal, principalmente na estação seca. Provavelmente isto ocorre, devido à maior absorção de água pelo sistema solo-planta na estação seca, conforme também ocorre com o comportamento da infiltração, e os valores de evapotranspiração. Assim, o papel desempenhado pela umidade antecedente é de total relevância no comportamento de ascensão e recesso da hidrógrafa.

A estação do médio curso se diferencia das outras por apresentar menores picos de ascensão e tempos de recesso mais longo, interpretado aqui por haver uma morfologia do canal mais estável e alargada, sem ocorrências significativas de assoreamentos ou erosão.

Ainda no gráfico 6.17, fica claro que o evento de vazão máxima ocorrido em 05 de dezembro de 2009 foi conseqüência dos maiores volumes de chuvas. Observando o comportamento das três estações nesta data, além de ter ocorrido eventos de chuva nos dias anteriores, que aumentaram o grau de saturação do solo, houve também um aumento do escoamento superficial. E conseqüentemente, a reposta chuva-vazão foi mais rápida e de maior magnitude.

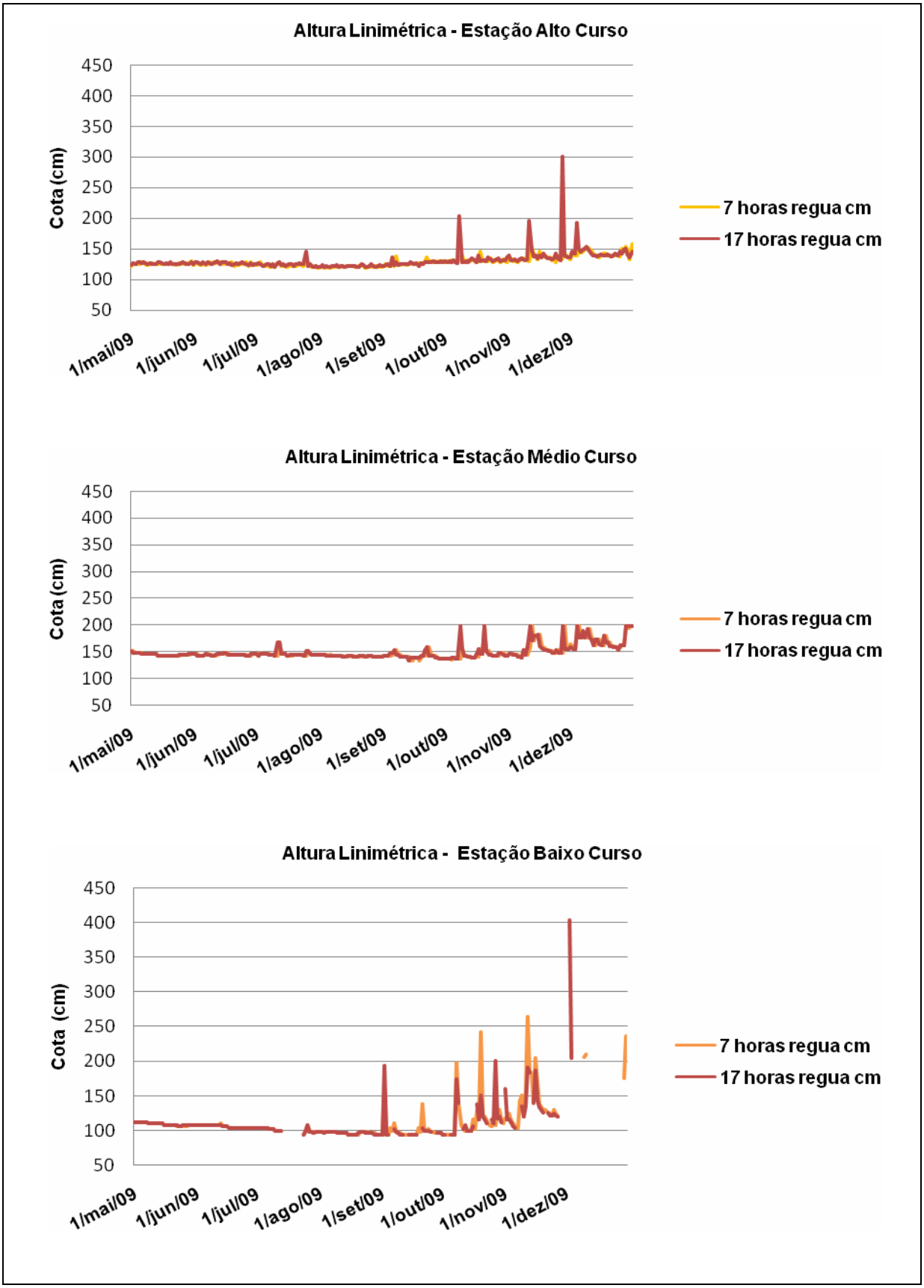


Figura 6.16 – Altura linimétrica entre maio e dezembro de 2009 para as três as estações.

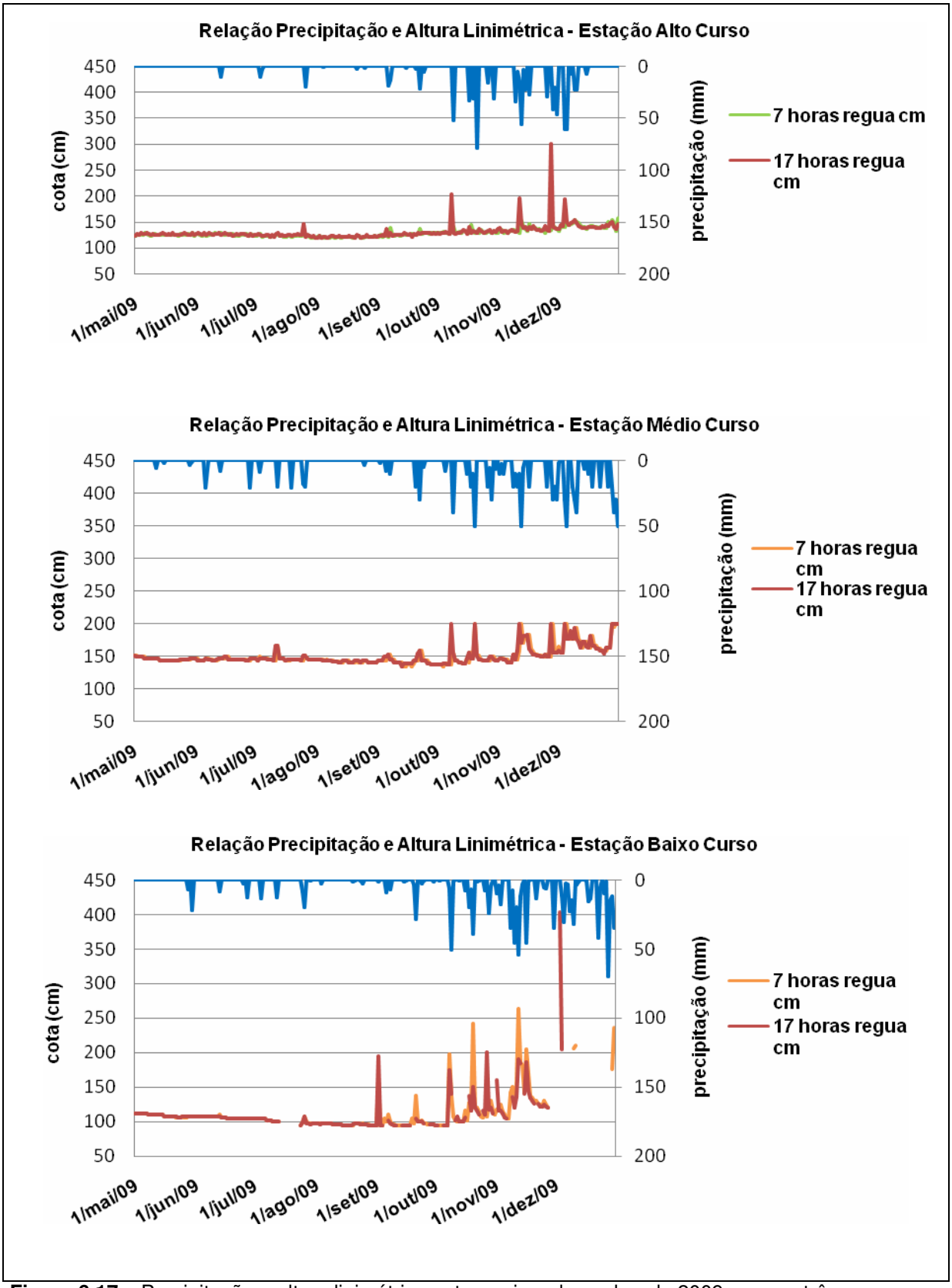


Figura 6.17 – Precipitação e altura linimétrica entre maio e dezembro de 2009 para as três as estações.

Já os gráficos das figuras 6.18 e 6.19, representam os dados de chuva e o nível de água na estação seca (entre maio e setembro de 2009) e estação chuvosa (entre outubro de 2009 e fevereiro de 2010), registrados no baixo curso da bacia pela estação automática a cada 10 minutos. O gráfico da estação seca conta com 22.030 dados e o da estação chuvosa com 21.744 dados, perfazendo um total, dentro desses dez meses de monitoramento, de 43.774 dados registrados pela estação. Observa-se que os comportamentos de precipitação e nível de água apresentaram boa correlação com as anotações dos leitores de campo, caracterizando o comportamento anteriormente mencionado. Para fins de relacionar os dados entre a linimetria registrada pelo leitor de campo e os registros da sonda no canal, ressalta-se que há uma diferença conhecida de 1 metro.

Para entender a relação entre a precipitação e a resposta do nível d'água no canal, foram analisadas as intensidades dos principais eventos de chuva. O maior valor de intensidade de chuva foi verificado no dia 11 de maio de 2009 chamado aqui de evento A (tabela 02 e figura 6.18). Apesar de ser o evento de maior intensidade não houve ascensão no canal fluvial. Atribui-se este comportamento devido ao período de estiagem antecedente e retenção de água pelo sistema, o que impediu a geração de fluxo de chuva no canal.

Observando os resultados da estação úmida (tabela 02 e figura 6.19), verificou-se maior ocorrência de eventos pluviométricos a partir do dia 17 de outubro. O primeiro pico de precipitação refere-se ao evento B, que teve início às 19:10 h e teve duração de 3 h, atingindo um total precipitado de 16,2 mm, e resultando em uma intensidade média de 5,4 mm/h. Nesse evento, o nível da água inicialmente estava em 0,11 m e só começa a subir as 22h00min, ou seja, 2 h e 50 minutos após o início da chuva.

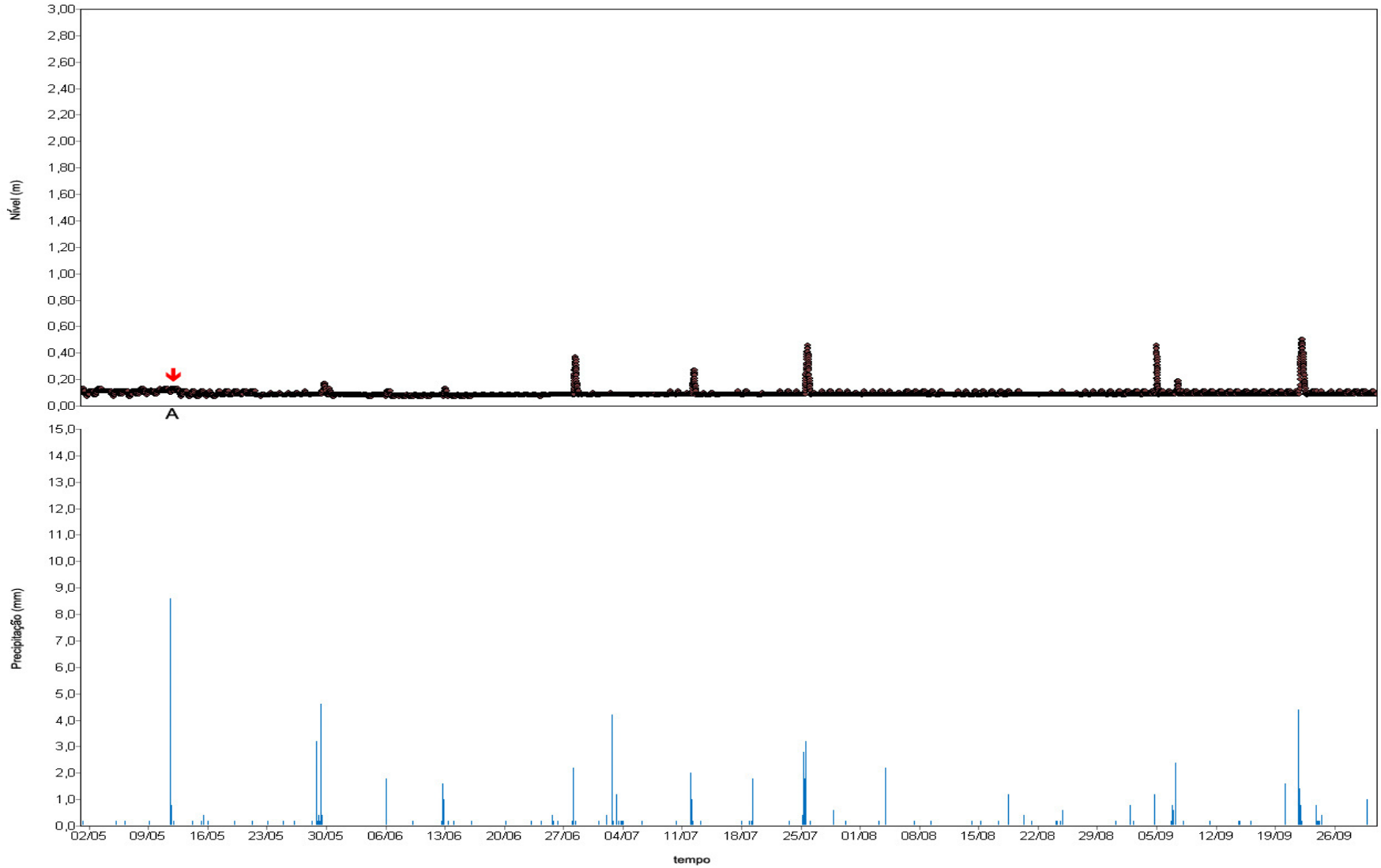


Figura 6.18 – Precipitação e altura linimétrica entre outubro de 2009 e fevereiro de 2010 em período seco na estação automática baixo curso.

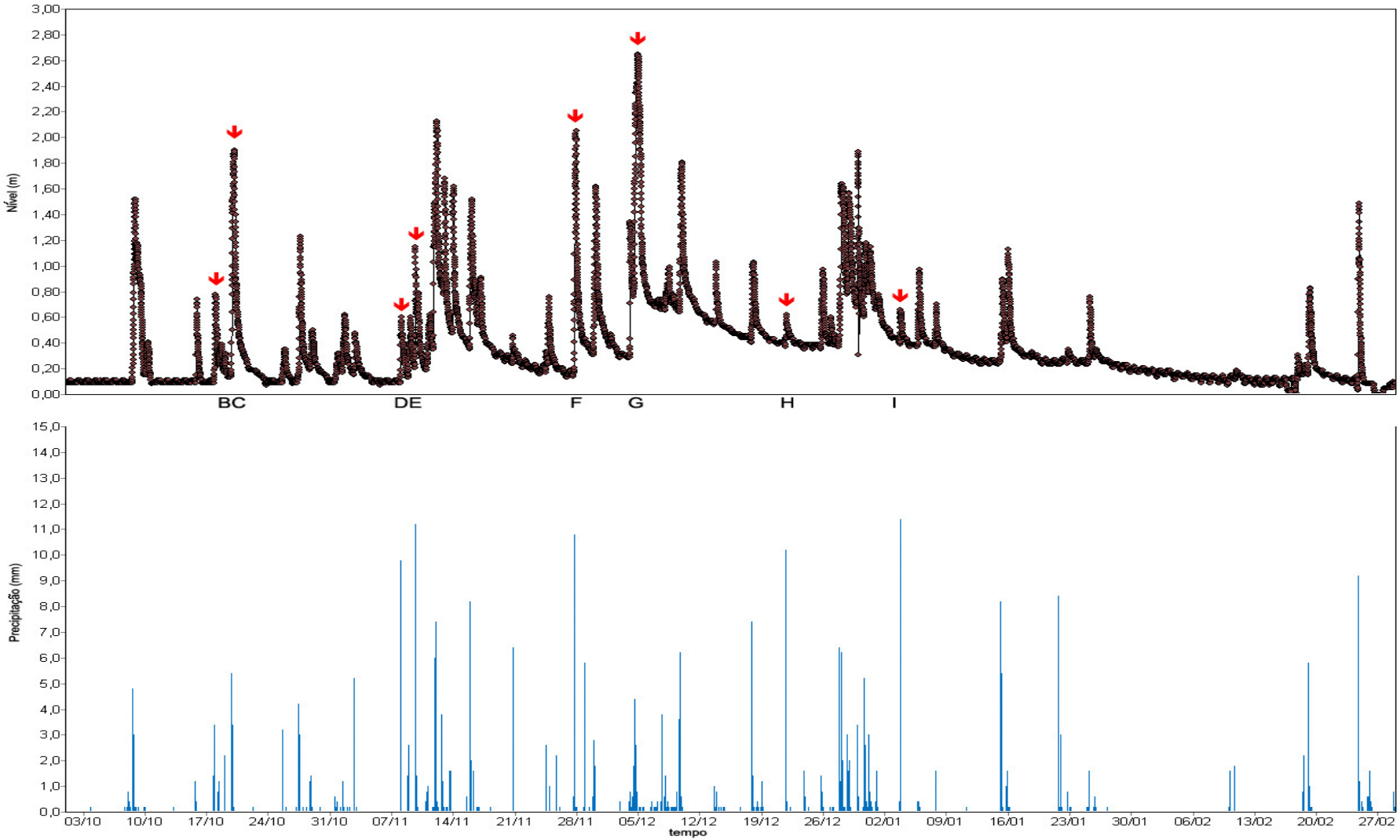


Figura 6.19 - Precipitação e altura linimétrica entre outubro de 2009 e fevereiro de 2010 em período úmidoo na estação automática baixo curso.

Tabela 02 – Intensidade de eventos de chuva e detalhamento da variação linimétrica na bacia do Córrego Sujo

Evento	Data	Início do Evento (h)	Fim do vento (h)	Duração do Evento (h)	Total Precipitado (mm)	Intensidade	Tempo de Resposta no Canal (h)	Cota Inicial (m)	Cota Máxima no Evento (m)
A	11-mai-09	15:30	15:40	10 min	10	62,5	sem alteração	0,11	0,11
B	17-out-09	19:10	21:50	3:00	16,2	5,4	2:50	0,11	0,78
C	19-20-out-09	19:40	0:20	4:20	36,6	8,45	1:20	0,15	1,9
D	8-nov-09	0:10	1:30	1:20	32,4	24,4	1:40	0,09	0,6
E	9-nov-09	16:10	17:30	1:20	32,8	24,7	10 min	0,21	1,15
F	27-nov-09	16:50	20:00	3:10	29	9,2	1:20	0,15	2,05
G	4-dez-09	7:30	21:00	13:30	74,8	5,6	6:20	0,97	2,65
H	21-dez-09	18:10	19:50	1:40	39,2	23,7	1:20	0,37	0,62
I	3-jan-10	18:00	19:00	1:00	24	24	50 min	0,4	0,66

Dois dias depois, um evento de chuva (evento C) apresentou seis milímetros no gráfico, associando-se em parte de um evento único que teve início às 19h40min do dia 19 e terminou às 0:20 h do dia 20, com duração de 4:20 h. Neste evento, a precipitação totalizou 36,6 milímetros e registrou-se intensidade média de 8,45 mm/h. Neste caso a resposta fluvial foi mais rápida, com aumento da hidrógrafa ocorrendo no intervalo de 01h20min. Isso se deve a eventos de chuva nos dias anteriores gerando maior umidade antecedente e aumento do fluxo de base.

Já os eventos D e E (tabela 02 e figura 6.19), tiveram duração, quantidade precipitada e intensidade muito próximos, isto é: 1h20min para ambos, 32,4 e 32,8 mm e 24,4 e 24,7 mm/h, respectivamente. Porém ocorreram tempos de ascensão da hidrógrafa e picos de vazão diferentes: 1h40min para o evento D e 10 minutos para o evento seguinte. Nestes eventos fica mais nítido o efeito da umidade antecedente, que é determinante para elevação súbita da vazão do Córrego Sujo.

O evento F, com intensidade média de 9,2 mm/h, apresentou tempo de ascensão da vazão fluvial de 1h20min, muito próxima do tempo observado nos eventos C, D e H. Entretanto, o único episódio de chuva com intensidade média similar foi o evento C, mostrando 8,45 mm/h. Isso se deve ao fato que, tanto o evento F quanto o C, estavam influenciados por maior umidade antecedente em relação aos eventos de chuva D e H, que apresentaram intensidade média de 24,4 e 23,7 mm/h.

O evento G apresentou maior pico de vazão para o período analisado, em conseqüência da sucessão de eventos chuvosos de magnitudes mais elevadas, associado também com comportamento de ascensão do fluxo de base na bacia. Mesmo com elevado volume precipitado (74,8 mm), observa-se que a chuva apresentou baixa intensidade (5,6 mm/h), em especial devido à elevada duração do evento: 13h30min.

O evento I apresentou intensidade média de 24 mm/h, com tempo de ascensão de resposta no canal de 50min, inferior aos tempos com intensidades similares como o evento D e H, porém com tempo de ascensão superior ao evento E, que foi de 10 minutos. Entretanto, este evento teve menores volumes de chuva que os outros eventos destacados (24 mm). A ascensão em 50 minutos da vazão, também é explicada pelo efeito da umidade antecedente.

6.4.3.2) Curva-Chave

A curva-chave para a seção de um canal fluvial é uma função que descreve a relação entre a vazão e a altura linimétrica (também denominada cota de escoamento). Esta curva permite a previsibilidade dos valores de vazão de um canal em condições adversas, principalmente, durante os períodos de chuvas intensas ou de estiagem. Dentro das possibilidades deste estudo, as medições de vazão foram realizadas mensalmente nas três estações da bacia, com o objetivo de obter correlações cota-vazão para o período seco e úmido dentro da bacia.

A relação linimetria-vazão na estação do Alto Curso (Tabela 03) foi elaborada após 11 medições de vazão, entre março de 2009 e fevereiro de 2010. O valor máximo de vazão alcançou 0,198 m^3/s e foi mensurado no dia 11 de dezembro, relacionado com eventos de precipitação de maior magnitude. A vazão mínima por sua vez, foi medida no mês de agosto, seguindo a tendência de estiagem que ocorre na região. A curva-chave da estação fluviométrica Alto Curso é expressa pela equação polinomial $Q= - 48882x^4 + 26059x^3 - 48599x^2 + 3802,x + 21,95$, apresentando baixo coeficiente de determinação, ou seja, $R^2 = 0,559$ (figura 6.20). Essa baixa correlação entre as variáveis pode ser atribuída à pequena quantidade de medições e também a possibilidade de assoreamento do canal. Este assoreamento mostra-se relacionado com às significativas taxas de erosão na

encosta com manejo agrícola convencional, adjacente à margem direita da estação. Indicações detalhadas dos processos erosivos podem ser encontrados em Nacionovic (2009) e Menezes (2009). Os autores citam que há uma perda de solo em torno de 500.000 kg/ha/ano, correspondentes às áreas de olericultura da bacia, que resultam na alteração da forma das seções fluviais do Córrego Sujo.

Tabela 03 – Valores da altura da lâmina de água e vazão da estação Alto Curso.

Data	Altura(cm)	Vazão(m3/s)
19/03/09	124	0,125
17/04/09	123	0,121
06/06/09	127	0,139
23/07/09	123	0,078
22/08/09	120	0,055
17/09/09	126	0,056
16/10/09	128	0,064
19/11/09	136	0,09
11/12/09	144	0,198
27/01/10	134	0,186
25/02/10	140	0,149

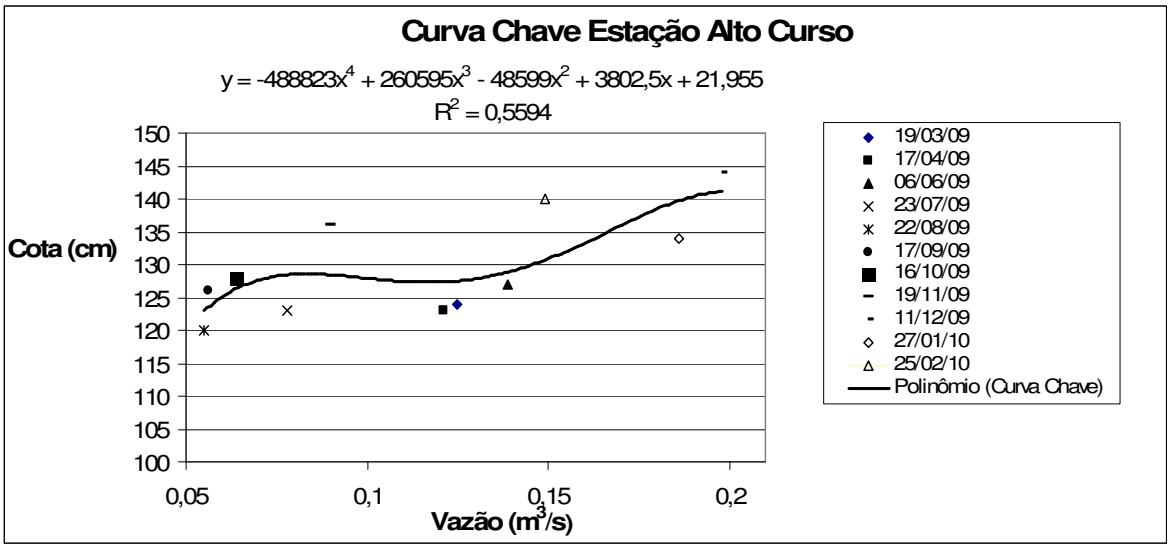


Figura 6.20 – Curva-Chave de tributário do rio Córrego Sujo (Estação Alto Curso – Cabeceira de Drenagem)

A equação de regressão da curva-chave da estação Médio Curso (Figura 6.21) é descrita pela equação $Q= -79,81x^4 + 313,6x^3 - 425,9x^2 + 267,4x + 81,89$, existindo uma relação polinomial com elevado coeficiente de determinação, $R^2 = 0,983$. Isto indica que, ao introduzir a variável altura da lâmina da água na equação, 98% das variações dos valores de vazão são previstas pelo modelo adotado (BERTOLDO & RIGHES, 2004). Além disso, essa estação contou com um maior número de medições de vazões em campo, ocorridas entre outubro de 2008 e fevereiro de 2010, totalizando 13 medições. Os valores mais altos de vazão ocorreram em fevereiro e dezembro de 2009 e o mais baixo em setembro deste mesmo ano (Tabela 04).

Tabela 04 – Valores da altura da lâmina de água e vazão da estação Médio Curso.

Data	Altura(cm)	Vazão(m3/s)
24/10/08	137	0,394
13/02/09	181	1,63
19/03/09	150	0,832
17/04/09	148	0,659
06/06/09	147	0,635
23/07/09	144	0,539
22/08/09	141	0,427
17/09/09	138	0,375
16/10/09	144	0,506
19/11/09	154	0,844
11/12/09	178	1,45
27/01/10	155	1,034
25/02/10	160	0,973

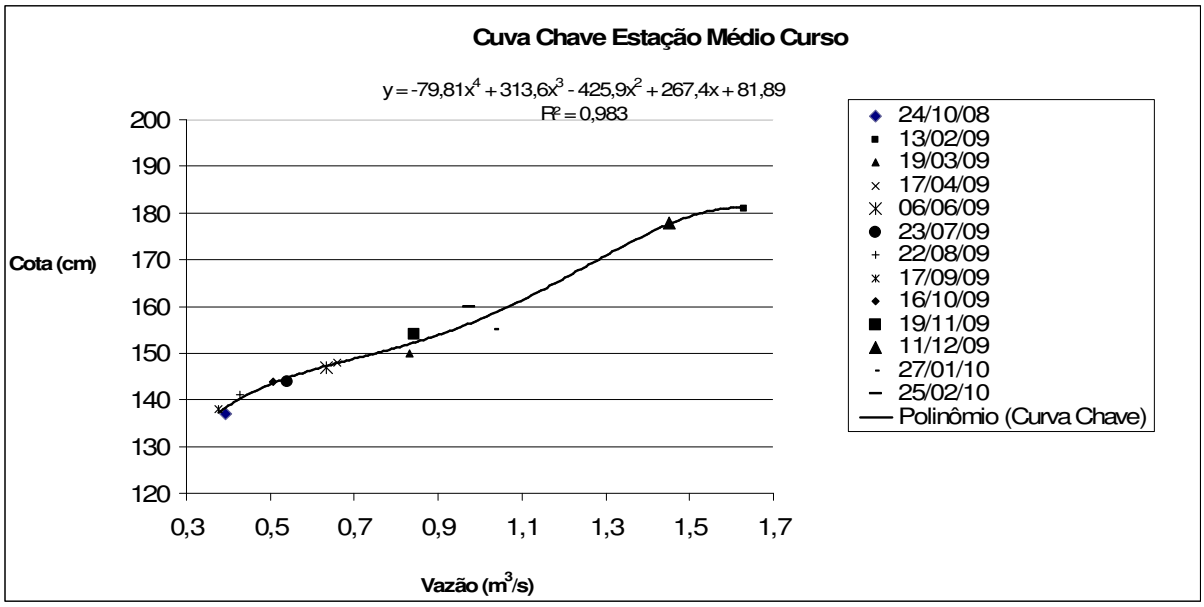


Figura 6.21 – Curva-Chave do rio Córrego Sujo (Estação Médio Curso)

Já a equação da curva-chave da estação Baixo Curso, $Q= -5405,x^4 + 12749x^3 - 10662x^2 + 3853,x - 417,8$, apresenta coeficiente de determinação mais elevado que a estação Alto Curso e inferior à estação Médio Curso, com $R^2 = 0,798$ (Figura 6.22). Essa correlação pode estar relacionada com possíveis influências de remanso provocadas durante a elevação da vazão do rio Preto, uma vez que a estação se localiza cerca de 300 metros a montante do exutório da bacia, ou seja, próximo do encontro do Córrego Sujo com o rio Preto. Outra limitação apresentada para essa estação é que a curva-chave contou apenas com oito medições, já que a régua inferior da seção foi destruída durante o evento extremo de chuva de 05 de dezembro de 2009. A partir disso, ficou impossibilitada a leitura das cotas mais baixas nos momentos das medições de vazão relativas ao fluxo de base. Além disso, se forem comparadas as tabelas 04 e 05, percebe-se que, nas medições do dia 22 de agosto, 16 de outubro, 19 de novembro, 11 de dezembro de 2009 e 27 de janeiro de 2010, foram obtidos valores de vazão inferiores aos da estação Médio Curso, o que não era esperado. Esse fenômeno foi interpretado como sendo o efeito da irrigação na hidrologia do canal, ou seja, pode ter havido elevada retirada de

água pela agricultura irrigada no segmento do Córrego Sujo posicionado entre essas duas estações fluviométricas.

Tabela 05 – Valores da altura da lâmina de água e vazão da estação Baixo Curso.

Data	Altura(cm)	Vazão(m3/s)
20/03/09	129	0,985
21/04/09	115	0,565
05/06/09	107	0,617
23/07/09	95	0,555
22/08/09	96	0,389
17/09/09	89	0,458
16/10/09	108	0,492
19/11/09	134	0,709
11/12/09*		1,403
27/01/10*		0,925
25/02/10*		1,052

*Não houve resultados de cota devido à destruição da régua linimétrica em evento extremo de chuva em 05/12/09

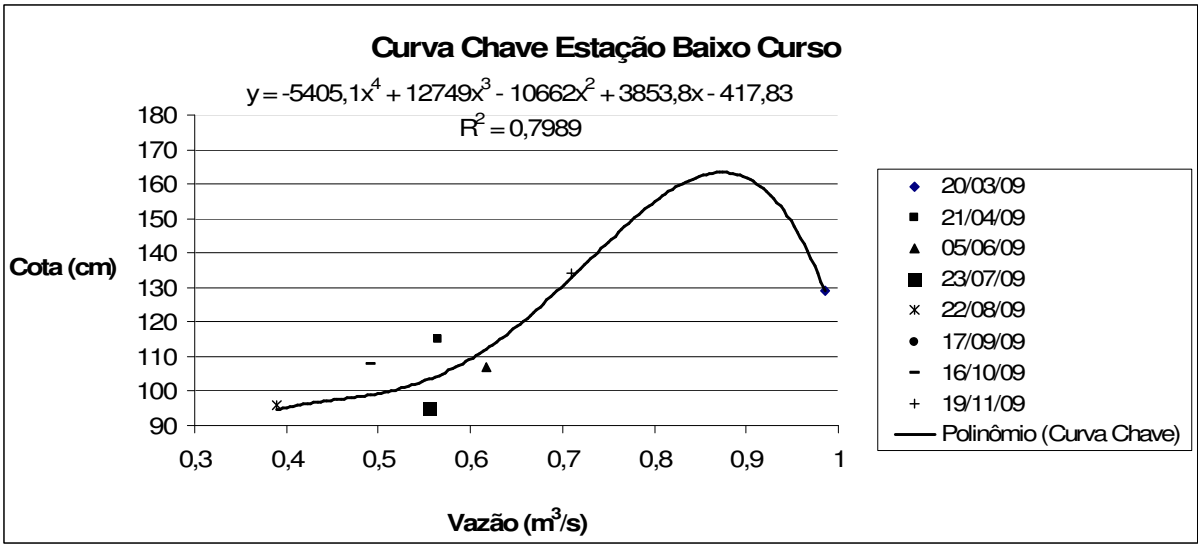


Figura 6.22 – Curva-Chave do rio Córrego Sujo (estação Baixo Curso)

As curvas das três estações apresentam mesma tendência de comportamento, ou seja, são unívocas. Entretanto a estação alto e baixo curso evidenciam a atuação de outros controles: há sedimentação e erosão no canal, assim como ocorrências esporádicas de remanso durante as vazões mais elevadas.

6.5) Estimativas entre a Disponibilidade e a Demanda de Água para a Agricultura Irrigada

Após a realização dos ensaios de aspersão, chegou-se ao valor médio de 2,5 mm de água irrigada durante cada um dos dois turnos de rega diários que, em geral, tem duração de 10 minutos. Esse valor foi multiplicado pela área de agricultura da bacia (3,186 km^2) resultando no volume de água retirado pela irrigação. Assim, são retirados do sistema pela agricultura cerca de 15.930 m^3 de água por dia, principalmente quando não há chuva. Neste trabalho, considerou-se o acionamento da irrigação ("precipitação artificial") todos os dias que não ocorrem eventos de precipitação ou quando esta não ultrapasse 2 mm de chuva.

Utilizando os dados de vazão diária da estação Baixo Curso conforme descrito anteriormente, selecionaram-se os meses entre junho e setembro de 2009, com intuito de analisar o comportamento em período de estiagem, e de outubro a dezembro de 2009 como período úmido.

A relação da demanda e disponibilidade de água na bacia, expressa na figura 6.23a, demonstra que nos meses mais secos, principalmente agosto, os volumes no canal aproximam-se da demanda de água para irrigação. Além disso, analisando que a atividade de irrigação é diurna e simultânea entre os agricultores, foram realizados cálculos para volumes de água disponíveis em metade de um dia (12 horas). Percebe-se neste caso que se torna mais acentuada a proximidade entre demanda e disponibilidade, com período mais crítico para o mês de agosto, ratificando o relato de alguns agricultores de conflitos pelo uso da água nesse período (figura 6.23b).

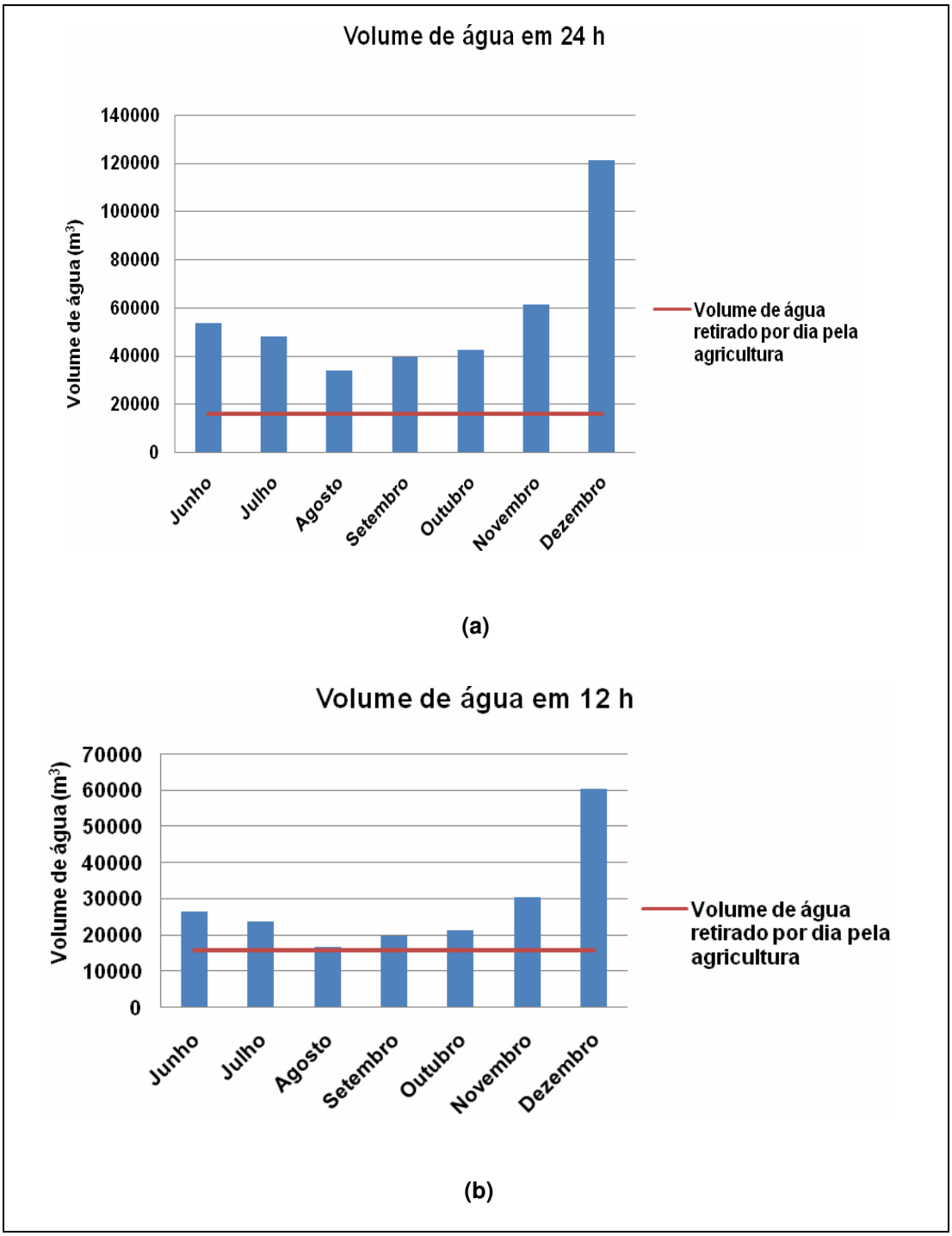


Figura 6.23 – Relação da vazão diária em 24 horas (a) e em 12 horas (b) frente ao volume de água retirado por dia pela agricultura.

7) CONCLUSÕES E FUTURAS PESQUISAS

7.1) Conclusões

Os resultados indicam que, ao longo do tempo, na bacia do Córrego Sujo, houve significativa retirada de cobertura florestal de Mata Atlântica e sua degradação mais recente está ligada à implantação de pastagens e ao uso do solo para agricultura olerícola.

A partir dos questionários e do mapa de uso, foi verificado que a gramínea responde pela maior cobertura vegetal da bacia (40% da área), porém apenas 3% das atividades ligadas à pecuária foram identificadas. Pode-se afirmar em relação à pecuária, que há na bacia a presença de grandes propriedades vinculadas a um pequeno grupo de produtores. As entrevistas apontaram uma média de 2.500 cabeças de gado na bacia, indicando que as áreas de gramínea não tem como principal objetivo a pecuária. Em contrapartida, a atividade agrícola conta com 96% das atividades praticadas, ocupando apenas 5,9% da área total da bacia, no contexto da pequena propriedade com técnicas convencionais e uso de mão-de-obra familiar. Foram mapeadas 92 propriedades com produção agrícola na bacia.

A agricultura irrigada é o uso que traz maior impacto hidrológico na bacia, em especial devido ao volume de água retirado dos canais. Há também impactos ambientais relacionados com a aplicação de insumos e defensivos agroquímicos (fertilizantes e pesticidas), assim como ocorrem elevadas taxas de escoamento superficial e produção de sedimentos, resultando em aumento da turbidez e assoreamentos significativos.

Percebe-se que a agricultura se distribui basicamente ao longo dos canais, onde o abastecimento dos sistemas agrícolas advém principalmente do escoamento

superficial (rio, nascente ou represamento/açude), sendo o bombeamento o principal meio de retirada de água dos rios.

Fica diagnosticada expressiva utilização de água pela agricultura irrigada na bacia do Córrego Sujo, uma vez que apenas um aspersor é capaz de inserir entre 1,5 a 4,0 mm de água no cultivo durante apenas 10 minutos. Essa captação de água tende a ser problemática nos meses de vazão mínima, que resulta simultaneamente em maiores problemas de assoreamento e geração de conflitos entre os agricultores, principalmente no alto curso da bacia. Além disso, caso ocorra uma expansão da área agrícola com o tipo de manejo predominante na bacia, fica evidenciado que haverá uma redução da recarga para as camadas subsuperficiais que alimentam a vazão mínima dos rios no período de estiagem, tão importante para a irrigação de olericultura e atividade financeira da comunidade local.

O comportamento da precipitação, altura linimétrica e vazão nos canais apontaram para uma estação seca entre e maio e setembro, com um fluxo de base mínimo. Por outro lado, o aumento da freqüência e volumes de chuva durante a estação úmida entre outubro e fevereiro resulta em elevação do fluxo de base, com influências diretas nas ocorrências de picos de vazão.

A relação cota-vazão mostrou-se mais ajustada para a estação instalada no Médio Curso, onde a curva-chave contou com 98% de correlação, permitindo neste ponto uma maior confiabilidade para futuras extrapolações da curva. Com isso, é possível prever o comportamento de vazão do canal em condições adversas, principalmente, durante os períodos de chuvas intensas ou de estiagem prolongada. Cabe ressaltar que é possível realizar um planejamento do uso da água a priori para minimizar os conflitos pelo uso da água na bacia durante os períodos de intensa estiagem.

Por fim, observou-se que a variável determinante para o acionamento dos sistemas de irrigação pelos agricultores é a precipitação, em detrimento da

temperatura ou da variação da evapotranspiração. Foi verificada uma retirada média do sistema de 15.930 m^3 de água por dia para irrigação das lavouras na bacia durante os dias não chuvosos, aproximando-se na estação seca da disponibilidade de água superficial da bacia. O mês de agosto apresentou-se como o mais crítico na relação demanda-disponibilidade de água, acentuando os conflitos a cerca do uso da água na bacia e demonstrando a necessidade de otimização e planejamento. Cabe ressaltar que o uso da água é primordial para a manutenção dessa atividade econômica e sustentabilidade daquela população no campo.

Espera-se que esta pesquisa possibilite adicionar métodos e indicadores voltados para o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e para o monitoramento da qualidade ambiental em áreas de agricultura irrigada familiar.

7.2) Sugestões para Trabalhos e Futuras Pesquisas

Melhorar os sistemas de mensuração automáticos, além de instalar esse tipo de mensuração nas estações Alto e Médio Curso da bacia.

Incluir a evapotranspiração como uma variável do balanço hídrico e definir suas influências no uso da água.

Ampliar as mensurações de vazão em campo, em especial durante os picos de cheia.

Realizar o balanço hídrico com uso de ferramentas e modelos de geoprocessamento e sistema de informação geográfica (SIG).

Ampliar a análise sobre as características das chuvas, e sua relação, na produção de escoamento e geração de sedimentos.

Acompanhar o processo de gestão dos recursos hídricos no âmbito da bacia do Córrego Sujo, a partir da instauração do Comitê Piabanha.

8) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, I. S. – 2009 – "Análise das Mudanças da Cobertura Vegetal, Uso do Solo e da Água na Agricultura Irrigada - Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)". Monografia de Graduação. Departamento de Geografia, UFRJ, 40 p.

AVELAR, A.S. – 2003 - "Características hidrológico-erosivas de solos em encostas montanhosas sob diferentes coberturas vegetais no Município de Bananal (SP)", Anais do X Simpósio brasileiro de Geografia Física Aplicada, Rio de Janeiro, 10 p., CD-ROM – pub. Especial da Revista GeoUERJ.

AVELAR, A.S., FERNANDES, M.C., LACERDA, W.A. & COELHO NETTO, A.L. – 2001 - "Análise de susceptibilidade a movimentos de massa no Maciço da Tijuca (RJ) utilizando SIG", 3ª Conf. Bras. sobre Estabilidade de Taludes – III COBRAE, Rio de Janeiro, v.1, p. 133-140.

BARRETO, A.C.M. – 2005 – "Caracterização Hidrológica e dos Diferentes Usos do Solo da Bacia do Córrego Sujo – Município de Teresópolis – RJ". Monografia de Graduação. Departamento de Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO. 41p.

BERTOLDO, F. & RIGHES, A. A. – 2004 – "Curva-Chave do Arroio da Bacia EscolaUrbana, em Santa Maria – RS". In: Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais eTecnológicas, S. Maria, v. 5 , n. 1, p. 11-29.

BORGES, V.T. & ALMEIDA, D. M. – 2003 – "Conflitos na Gestão das Águas". Anais do X Simpósio de Geografia Física Aplicada. 10 p.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 08 de agosto de 2007.

BRUM, L.B. – 2007 – "Os Desafios na Gestão das Águas no Brasil: o caso da Bacia Hidrográfica do Guapi-Macacu/ RJ". Monografia de Graduação. Faculdade de Formação de Professores. Departamento de Geografia, UERJ, 61 p.

BRUM, L. B. ; ARAUJO, I. S. ; CORTES, M. M. ; ARAUJO, F. V. & AVELAR, A. S. – 2009 – "Monitoramento da Qualidade da Água da Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)". In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande - MS. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009. V1.

BRUM, L.B.; ARAÚJO, I.S.; MENEZES C. E.E.; AVELAR, A.S. – 2008 – "Utilização da Água para Agricultura Irrigada na Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ). In 3^0 Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Rio de Janeiro, v. 1 , p. 200-211.

CARTER, J. G. – 2007 – "Spatial Planning, Water and the Water Framework Directive: insights from theory and pratictice". In The Geographical Journal, Vol. 173, No 4, p. 330-342.

CARVALHO, M.A. – 2003 – “Sistema de Suporte a Decisão para Alocação de Água em Projetos de Irrigação”. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 173p.

CLEMMENS, A. J. & ALLEN, R. G. – 2005 – “Impact of Agricultural Water Conservationon Water Availability”. In: World Water Conference.

COELHO NETTO, A. L. – 1994 – “Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia”. In Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Guerra, A. J. T. & Cunha, & S. B. (org). Ed. Bertrand Brasil, São Paulo, 1994.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; DANTAS, M.E.; ROCHA LEÃO, O.M., 1996, “Diagnóstico Geo-Biofísico”; cap.3, *in*: Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Rio de Janeiro. Parte I:: Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica da Baia de Sepetiba; organizado por Santos, Ubiratan e ed. no CARTOGEO-NCE/UFRJ:30-52p.

CORREA, R. L. A. – 1996 – “Elaboração de Projeto de Pesquisa Um Guia Prático Para os Geógrafos”. Geosul, v.11, n 21/22, 1 e 2 semestres, p.169-172.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O – 1977 – “Necessidades Hídricas das Culturas”. Tradução de GHEYI, H.R.; METRI, J.E.C.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande – UFPB. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 204p.

DUNNE, T & LEOPOLD, L.B**.** – 1978 – **“***Water in Environmental Planning”* **-** W.H. FREEMAN & Company, San Francisco, 818p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – 1999 – “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos”, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Brasília, DF, 412p.

FAGANELLO, C.R.F. – 2007 – “Fundamentação da cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada, na microbacia do Ribeirão dos Marins, Piracicaba / SP”. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 133p.

FOLEGATTI, M.V.; SILVA, T.J.A. & CASARINI, E.O – 2004 – “O manejo da irrigação como elemento essencial na utilização racional dos recursos hídricos. In: THAME, A.C.M. (org). A Cobrança pelo uso da Água na Agricultura. IQUAL, Istitutro de Qualificação e Editoração, São Paulo, p. 213-219.

GIORDANO M., GIORDANO M. & WOLF, A. – 2002 – “ The Geography of Water Conflict and Cooperation: internal pressures and international manifestations.” In The Geographical Journal, Vol. 168, No 4, p. 293 – 312.

GOMES, H. P. – 1999 – “Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento”. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PA, 412 p.

GUERRA, A.J.T. – 1994 – “Processos erosivos nas encostas”, *In*: *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*, Cap. 4, GUERRA, A.J.T. & CUNHA,S.B. (organizadores); Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 149-209.

LANNA, A. E. L. – 1995 – “Gerenciamento de Bacia Hidrográfica: Aspectos Conceituais e Metodológicos”. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis. 171 p.

LEONARDO, H. C. L. – 2003 – “Indicadores de Qualidade de Solo e Água para Avaliação do Uso Sustentável da Microbacia Hidrográfica do Rio Passo Cue, Região Oeste do Estado do Paraná”. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 120 p.

LIMA, J.V.R – 2006 – “A Gestão de Águas na Bacia do Paraíba do Sul À Luz da Política Nacional de Recursos Hídricos: o caso do Complexo Hidrelétrico de Ribeirão das Lajes”. Monografia de Graduação. Faculdade de Formação de Professores. Departamento de Geografia, UERJ, 64 p.

MACHADO, J.C.S. (org.) – 2004 – “Gestão de Águas Doces”. Editora Interciência, Rio de Janeiro,371p.

MAROUELLI, W.A., SILVA, W.L.C. & SILVA, H.R. – 2008 – “Irrigação por Aspersão em Hortaliças: Qualidade da Água, Aspectos do Sistema e Método Prático de Manejo”. 2^0 edição. EMBRAPA. Brasília, 150 p.

MENDONÇA, M.B., MARQUES, E.A.G. & AVELAR, A.S., 2000, “Experiences on diagnosis and treatment of urban hill-slopes in Rio de Janeiro, Brazil”, V Intern.l Simp. on Enviromental Geotechnology and Global Sustainable Development, Belo Horizonte, cod. 295 Id 255, publicado em CD-ROM.

MENEZES, C. E. E.; NACINOVIC, M. G. G.; AVELAR, A. S. & MAHLER, C. F. – 2009 – "Parâmetros hidrológicos e erosivos obtidos em parcelas experimentais, Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)", Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS.

MENEZES, C.E.E. – 2009 – “Parâmetros Hidrológicos e Erosivos em Parcelas Experimentais, Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis (RJ)”. Monografia de Graduação. Departamento de Geografia, UFRJ, 33 p.

MIRANDA, A.C., GOMES, H.P. & SILVA, M.O – 2006 – “Recursos Hídricos: a gestão das águas, a preservação da vida”. Ed. All Print, 1◦ edição, 111 p.

MOTA, L.C.S. – 2004 – “O impacto da cobrança pelo uso da água na lucratividade e no custo dos diversos setores usuários – Industrial, agropecuário e hidrelétrico”, Tese de Mestrado, Dept de Engenharia Civil, UFRJ.

MULLER, I. I. – 1995 – “Métodos de Avaliação da Evaporação e Evapotranspiração – Análise comparativa para o Estado do Paraná”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica – Centro de Hidráulica e Hidrologia Professor Pariot de Souza, UFPR, 168 p.

NACINOVIC, M. G. G. – 2009 – “Estudo de Erosão pela Análise de Sucção e Escoamento Superficial na Bacia do Córrego Sujo (Teresópolis, RJ)”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, 167 p.

OLIVEIRA, A.B. – 2003 – “A Abordagem Sistêmica no Planejamento e Gestão de

Bacias Hidrográficas". Anais do X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 15 p.

OLIVEIRA, A.S. de & COELHO, E. F. C. – 2000 – "Irrigação e Recursos Hídricos". EMBRAPA: Coletânea, Rumos e Debates. Disponível em: < http:// www.embrapa.br>. Acesso em: 10 out. 2007.

OLIVEIRA, E.S.– 2007 – "Indicadores Geoambientais de Qualidade das Águas da Bacia do Córrego Sujo, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Teresópolis (RJ)", Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduacao em Geociências – Geoquímica, UFF, 150 p.

PIRES DO RIO, G.A. & PEIXOTO, M.N.O. – 2001 – "Superfície de regulação e conflitos de atribuições na gestão de recursos hídricos", Rev. Território, n. 10, pp. 17-24.

POMPEU, C.T. – 2003 – "O Papel do Conselho Nacional de Recursos Hídricos" – CNRH. In: Revista Ciência e Cultura, Ano 55, n. 4 – out/nov/dez pp. 42-44.

RIO DE JANEIRO. DECRETO Nº 38.235, de 14 de setembro de 2005 – Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto, no Âmbito do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.serla.rj.gov.br/mais/contato_a.asp>. Acesso em: 20 out. 2007.

RIO DE JANEIRO. LEI Nº 3239, de 02 de agosto de 1999 – Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. <http://www.serla.rj.gov.br/mais/contato_a.asp>. Acesso em: 20 out. 2007.

RODRIGUES, R. B. – 2005 – "Sistema de Suporte a Decisão Proposto para a Gestão Quali-Quantitativa dos Processos de Outorga e Cobrança pelo Uso da Água". Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 155p.

SANTOS, I. [et.al] – 2001 – "Hidrometria Aplicada", Ed. LACTEC, Curitiba, 372p.

SOARES, E.M.F. & ORTH, D.M – 2003 – "Sistema de Gestão das Águas para Bacias Hidrográficas". Anais do X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 6 p.

SOUZA, M.J.L. – 1995 - " O Território: Sobre Espaço e Poder, Autonomia e Desenvolvimento, In: Geografia: Conceitos e Temas, CASTRO, I.E., GOMES. P.C.C. & CORRÊA, R.L. (org); Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 77-116.

TUCCI, C. E. M. (org) – 1993 – "Hidrologia Ciência e Aplicação". 4^0 edição. Ed. UFRGS/ABRH. Porto Alegre, 943 p.

TUNDISI, J. G (org.) – 2003 – "Água no Século XXI: enfrentando a escassez". São Carlos: Rima, IIE, 248 p.

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS

A.1 Especificações do Medidor de Fluxo Global Water - FP 201

- Range: 0.3-15 FPS (0.1-4.5 MPS)

- Precisão: 0.1 FPS

- Media: Fluxo digital verdadeira. Tomada de 1 leitura por segundo.

- Display: LCD

- Tipo de sensor: Hélice sonda turbo protegida com corrente eletromagnética.

- Peso 2 libras (10lbs.EUA,14lbs. Peso universal para empacotamento)

- Tamanho: 5' A 15'

- Materiais: PVC, Alumínio anodizado, engrenagens de aço inoxidável.

- Energia: Bateria interna tipo relógio / tempo de vida de 1 ano.

- Temperatura de operação: 0º a 120º F

A.2 Especificações da Estação Pluvio-Fluviométrica Linígrafo Flex

Componentes

- Pluviômetro digital

sonda de pressão com precisão centimétrica (< 1 cm)

- Display (LCD)

- Alimentação através de bateria de 12v e painel solar

- Datalogger com memória para aproximadamente 32.000 valores medidos

Armazenamento

- Memória circular EEPROM de 128 Kbytes com protocolo inteligente de armazenamento.

- Configuração dos intervalos de armazenagem de 1 minuto a 24 horas.

Comunicações

Interface RS-232 para aplicação com:

- Cabo serial direto para o computador.

- Modem GSM/GPRS.

- Comunicadores via satélite.

Software

- Compatível com computador tipo PC Pentium ou equivalente a partir de 233 MHz. Compatível com os Sistemas Operacionais Windows 98, ME, NT, 2000 e XP.