



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS



**APLICAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO NA SUB-BACIA
DO RIACHO DAS CAPIVARAS/SE COMO FERRAMENTA DE
AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

FABRÍCIA NASCIMENTO ROSAS

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ESTUDOS EM RECURSOS NATURAIS



FABRÍCIA NASCIMENTO ROSAS

APLICAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO NA SUB-BACIA DO RIACHO DAS CAPIVARAS/SE COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração Sustentabilidade de Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mélo Júnior

**SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2009**

FABRÍCIA NASCIMENTO ROSAS

**APLICAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO NA SUB-BACIA
DO RIACHO DAS CAPIVARAS/SE COMO FERRAMENTA DE
AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração Sustentabilidade de Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 28 de maio de 2009.

Prof. Dr. Alceu Pedrotti
UFS

Dr. Marcus Aurélio Soares Cruz
CPATC/EMBRAPA

Prof. Dr. Arisvaldo Vieira Mélo Júnior
UFS
(Orientador)

**SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2009**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1	1
1. Introdução Geral	1
2. Referencial Teórico	4
3. Referências Bibliográficas	10
CAPÍTULO 2: Caracterização ambiental e fisiográfica da sub-bacia do Riacho das Capivaras	14
1. Resumo	14
2. Abstract	15
3. Introdução	16
4. Referencial Teórico	17
5. Material e Métodos	21
5.1. Área de estudo	21
5.2. Levantamento fisiográfico da sub-bacia do Riacho das Capivaras	22
5.2.1. Área da Bacia	23
5.2.2. Comprimento da Bacia	23
5.2.3. Fator Forma (Ff)	23
5.2.4. Coeficiente de compacidade (Kc)	24
5.2.5. Índice de Circularidade (Ic)	24
5.2.6. Declividade média da Bacia	25
5.2.7. Declividade média do rio principal	25
5.2.8. Densidade dos cursos d'água (Ds)	25
5.2.9. Densidade de drenagem (Dd)	26
5.3. Levantamento dos aspectos ambientais	27
5.3.1. Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente (APP's).....	27
5.3.2. Extração Mineral	31
5.3.3. Ocupação urbana – Assentamento de Reforma Agrária	34

6. Resultados e Discussões	35
6.1. Características fisiográficas	35
6.2. Aspectos Ambientais	37
6.2.1. Uso e ocupação do solo	37
6.2.2. Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente (APP's)	45
6.2.3. Extração mineral	48
6.2.4. Ocupação urbana – Assentamento de Reforma Agrária	49
7. Conclusões	52
8. Referências Bibliográficas	54
CAPÍTULO 3: Aplicação de modelo hidrológico na Bacia do Riacho das	
Capivaras/SE como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental	
1. Resumo	63
2. Abstract	64
3. Introdução	65
4. Referencial Teórico	66
4.1. Bacias Hidrográficas	66
4.2. Ciclo hidrológico e Escoamento superficial	69
4.3. Modelagem hidrológica	72
4.4. Método do SCS	76
4.4.1. Grupos hidrológicos dos solos	78
4.4.2. Classe de tratamento, uso e condição hidrológica do solo.....	82
4.4.3. Desenvolvimento matemático do MSCS	84
4.5. Curva de permanência de vazões	85
4.6. Simulação de cenários	87
5. Material e Métodos	89
5.1. Descrição da sub-bacia hidrográfica	89
5.1.1. Localização	89
5.1.2. Clima	89
5.1.3. Solo e uso atual	89
5.1.4. Caracterização hidrológica	92
5.2. Método do SCS	93
5.3. Cenários	94
6. Resultados e Discussões	97

7. Conclusões	103
8. Referências Bibliográficas	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras	21
Figura 2	Precipitação pluviométrica média mensal na sub-bacia do Riacho das Capivaras no período de 1948-1970	22
Figura 3	Forma alongada e densidade dos cursos d'água da sub-bacia do Riacho das Capivaras	36
Figura 4	Imóveis da sub-bacia do Riacho das Capivaras agrupados por área.....	38
Figura 5	Percentual de ocupação de cada imóvel na área da sub-bacia do Riacho das Capivaras	38
Figura 6	Paisagem com predominância de relevo ondulado, ocupada com pastagem e pequenos testemunhos de mata nativa.....	39
Figura 7	Pastagem degradada, apresentando solo exposto.....	40
Figura 8	Uso do fogo para limpeza de áreas para plantio	41
Figura 9	Área após a queimada.....	41
Figura 10	Captação de água para consumo humano e irrigação de pequeno porte	42
Figura 11	Mata de capoeira grossa (a) e capoeira fina (b)	43
Figura 12	Mapa de uso e ocupação da sub-bacia do Riacho das Capivaras	44
Figura 13	Uso e ocupação da sub-bacia do Riacho das Capivaras em percentuais	45
Figura 14	Supressão da mata ciliar para implantação de pastagem	46
Figura 15	Desestabilização das margens e consequente assoreamento do curso d'água	46
Figura 16	Área de preservação permanente prevista em Código Florestal (a) e existentes (b)	47
Figura 17	Retirada de areia do leito do Riacho das Capivaras	49

Figura 18	Assentamento do MST existente na sub-bacia do Riacho das Capivaras	50
Figura 19	Construções feitas com madeira retirada da Mata Atlântica.....	50
Figura 20	Ausência da mata ciliar ao longo do Riacho das Capivaras.....	51
Figura 21	Assoreamento ao longo do Riacho das Capivaras.....	51
Figura 22	Assoreamento ao longo do Riacho das Capivaras, remanescente de Mata Atlântica	52
Figura 23	Esquema representativo do ciclo hidrológico	70
Figura 24	Tipos de solo existente na sub-bacia do Riacho das Capivaras	91
Figura 25	Uso e ocupação do solo da sub-bacia do Riacho das Capivaras em percentuais	92
Figura 26	Curva de permanência de vazão do Cenário 1	101
Figura 27	Curva de permanência de vazão do Cenário 2	101
Figura 28	Curva de permanência de vazão do Cenário 3	102
Figura 29	Curva de permanência de vazão do Cenário 4	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tabela do <i>CN</i> para uso agrícola	83
Tabela 2	Uso e ocupação do solo para o Cenário 1.....	94
Tabela 3	Uso e ocupação do solo para o Cenário 2.....	95
Tabela 4	Uso e ocupação do solo para o Cenário 3.....	96
Tabela 5	Uso e ocupação do solo para o Cenário 4	97
Tabela 6	Uso e ocupação do solo para os quatro cenários simulados	98
Tabela 7	Uso e ocupação do solo para os quatro cenários simulados em percentuais da área total.....	98
Tabela 8	Indicadores de avaliação de cada cenário simulado	99
Tabela 9	Vazões de referência para os cenários simulados.....	103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ANA	Agencia Nacional de guas
APP	rea de Preservao Permanente
ARL	rea de Reserva Legal
CN	Número da Curva de Escoamento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNPM	Departamento Nacional de Produo Mineral
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FCRAM	Florestamento Compensatório para Reteno de água em micro-bacia
GHS	Grupo Hidrológico de Solo
INCRA	Instituto Nacional de Colonizao e Reforma Agrária
LIO	Licena de Instalao e Operao
MP	Ministério Público
MS	Mandado de Segurana
MSCS	Método do Soil Conservation Service
QGis	Quantum Gis
SCS	Soil Conservation Service
SEPLAN/SRH-SE	Secretaria de Planejamento/ Secretaria de Recursos Hídricos de Sergipe
SIG	Sistema de Informaoes Georreferenciadas
TCU	Tribunal de Contas da União

RESUMO

ROSAS, Fabrícia Nascimento. **Aplicação de modelo hidrológico na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE, como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental.** 2009. 115p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.¹

O manejo inadequado dos recursos solo e água têm produzido a degradação do meio ambiente. O conhecimento do volume do escoamento superficial é fundamental para auxiliar na tomada de decisão direcionada ao planejamento dos recursos hídricos e ao controle da erosão. Com o presente trabalho, objetivou-se a caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras, bem como, estimar o escoamento superficial produzido mediante alterações no uso do solo. A sub-bacia do Riacho das Capivaras está localizada no município de Estância, região sul do Estado de Sergipe. Os dados foram obtidos a partir de cartas planialtimétricas, cadastral, de declividade e de uso e ocupação do solo e levantamento de campo, os quais foram manipulados por meio do programa QUANTUM GIS (QGis). O escoamento superficial foi calculado com base no modelo hidrológico SCS (Soil Conservation Service) que tem como principal variável o número da curva de escoamento superficial (CN) que é estimado com base nas informações de solo e cobertura da terra. Neste trabalho foram elaborados e analisados diferentes cenários de uso dos recursos ambientais, considerando variações temporais dos mesmos. A caracterização morfométrica da sub-bacia do Riacho das Capivaras aponta para uma bacia de forma mais alongada - pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação - comprovada pelo índice de circularidade, coeficiente de forma e coeficiente de compacidade. Entretanto, cerca de 34% de sua área apresenta relevo classificado como de forte declive, sendo sua declividade média de 17,9%, o que facilita o escoamento superficial e aumenta a necessidade de proteção das áreas de recarga do lençol freático. Na simulação de escoamento superficial verificou-se que no cenário, em que prevalece o aspecto econômico em detrimento do ambiental, obteve-se o maior CN (84,84) com conseqüente maior volume superficial escoado. Verificou-se também que, no cenário em que as áreas de reserva legal e de preservação permanentes são conservadas, o CN e o escoamento superficial não divergem, significativamente, do cenário que associa práticas adequadas de manejo à manutenção das áreas de preservação permanente. Estes dados evidenciam que o manejo do solo é tão importante quanto a cobertura vegetal no controle do escoamento superficial.

Comitê orientador: Arisvaldo Vieira Mello Júnior – DEA/UFS (orientador), Alceu Pedrotti – DEA/UFS, Marcus Aurélio Soares Cruz- CPATC/ EMBRAPA.

ABSTRACT

ROSAS, Fabrícia Nascimento. **Aplicação de modelo hidrológico na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE, como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental.** 2009.115p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.¹

The degradation of the environment has been produced by inadequate management of soil and water resources. Knowledge of the volume of runoff is essential to assist in decision-making directed the planning of water resources and control of erosion. The present study aimed characterizing morphometrically the watershed of the Riacho Capivaras located in Estância, Southern State of Sergipe, as well estimate the runoff produced by changes in soil use. Topographic, cadastral, slope, use and occupancy of soil maps were processed in a Geographic Information System using QUANTUM GIS (QGis). The runoff was calculated on the hydrologic model SCS (Soil Conservation Service) that has as main variable the number of the curve of runoff (CN) which is estimated based on the information of soil and cover the land. In this work were prepared and analyzed various scenarios for the use of environmental resources, by the temporal variations of them. The morphometric characterization of the watershed of the Riacho Capivaras points to a elongated basin - unlikely to flooding under conditions of normal rainfall - evidenced by the index of circularity, coefficient of shape and compactness. However, approximately 34% of its area has classified as high-relief and its average slope of 17.9%, which facilitates the runoff and increases the need for protection of areas of recharge of groundwater. In the simulation of runoff for different scenarios it was found that the scenario in which the aspect prevails the economic over environment, it was obtained the highest CN (84.84) with consequent increased surface volume disposed. There was also that in the scenario where the areas of legal reserve and permanent preservation are conserved, the CN and runoff do not differ significantly from the scenario involving appropriate management practices for the maintenance areas of permanent preservation. These data show that soil management is as important as the vegetation cover to control of runoff.

Guidance Committee: Arisvaldo Vieira Mello Júnior – DEA/UFS (Major professor), Alceu Pedrotti – DEA/UFS, Marcus Aurélio Soares Cruz- CPATC/ EMBRAPA.

CAPÍTULO 1

1. Introdução Geral

Os recursos naturais são de vital importância para a humanidade, contudo, os mesmos têm sido utilizados de forma indiscriminada, contribuindo para uma rápida e intensa degradação ambiental. O solo é um recurso renovável que demora milhares de anos para se formar e que pode se degradar de forma irreversível por má utilização pelo homem, em poucas décadas ou mesmo, anos. Este cenário foi criado ao longo do tempo, decorrente da combinação do crescimento exagerado das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas facilitada pela gestão inadequada do uso e ocupação da terra e pelo descaso com planejamento hídrico.

A ocorrência de problemas relacionados à escassez de recursos hídricos, no Brasil, tem como um dos principais fatores a má distribuição temporal e espacial das chuvas e vazões, aliada, muitas vezes, à concentração das demandas por água em determinadas regiões. No Brasil, os problemas de escassez hídrica decorrem, fundamentalmente, da combinação do crescimento exagerado das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas. A supressão de florestas e matas ciliares, a ocupação desordenada e inadequada da terra tem contribuído para perda gradual da capacidade produtiva do solo, acentuação gradual de enchentes, variações climáticas, assoreamento e contaminação de redes de drenagem por sedimentos e poluentes de origem difusa, proporcionando um elevado prejuízo econômico e social. Este quadro é consequência do aumento desordenado dos processos de industrialização, expansões urbanas e agrícolas ocorridas a partir da década de 50.

A maioria das indústrias usa, em sua produção, grandes quantidades de água limpa em processos como refrigeração e geração de vapor, incorporação dos produtos, higiene e limpeza. E como resultado destes processos, a água perde oxigênio ao ser aquecida, carrega-se de resíduos tóxicos, metais pesados e restos de materiais em decomposição quando do processo de lavagem. Esta água contaminada por resíduos inorgânicos - os mais comuns são chumbo, cádmio e mercúrio - é lançada em rios e mar e, a depender da composição e concentração, estes poluentes hídricos têm a capacidade de intoxicar e matar microorganismos, animais aquáticos e espécies vegetais.

O caso da Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, é um exemplo deste tipo de degradação ambiental. Localizada no município de Santo Amaro da Purificação, no

Recôncavo baiano, foi abandonada em 1993, tendo produzido e depositado indiscriminadamente 490.000t de escória contaminada com metais pesados, sobretudo chumbo (Pb) e cádmio (Cd). Desde o início de suas atividades, em 1989, a população rural fez uma série de reclamações contra a empresa. Esta insatisfação decorria dos primeiros sinais de contaminação, evidenciada pela morte de rebanho bovino e equino, nas áreas adjacentes ao empreendimento (ANJOS, 2001).

Já a pressão exercida pela expansão urbana sobre os recursos hídricos é estimulada pelo desenvolvimento periférico dos grandes centros que, ocupando áreas impróprias para urbanização, algumas vezes, avançam sobre sítios de grande importância ecológica, ocasionando desequilíbrios freqüentes tais como inundações e degradação da qualidade da água.

No contexto da ocupação rural, os sistemas agrossilvopastoris têm sido apontados como impactantes devido ao uso de agrotóxicos, adubações nitrogenadas, dejetos de criações e aos desmatamentos. RUNHOFF et al. (2004), em trabalho desenvolvido na Bacia do Arroio Grande (RS), avaliou o volume de água infiltrada e perdida a partir da cobertura vegetal. Sub-bacias com maiores percentuais de cobertura florestal apresentam um volume maior de água infiltrada, bem como um menor volume de água perdida em escoamento superficial e sub-superficial. Em contraposição, em áreas ocupadas com campos e pastagens, do volume total precipitado, apenas 7,20% são infiltrados no solo. Em áreas agrícolas, este percentual é ainda menor, apenas 3,60%, o restante é escoado superficialmente e perdido, ou seja, deixam de infiltrar e abastecer o lençol freático.

Na sub-bacia do Riacho das Capivaras (SE), caracterizada por minifúndios nos quais são praticadas a agricultura, pecuária e a extração mineral (areia de rio), a população tem percebido o efeito da ação antrópica na qualidade da água e solo quando os recursos naturais disponíveis não são utilizados e manejados de forma planejada. É visível, nesta área, a perda de solo por processos erosivos, o assoreamento dos cursos d'água, além da perda de material genético (espécies animais e vegetais nativos). Para esta população, o principal fator de degradação do riacho é a extração da areia e o desmatamento das margens que por sua vez provoca o desmoronamento da calha do riacho. O desmatamento aumenta tanto a compactação quanto a perda de solos por erosão e posterior sedimentação do material mobilizado, contribuindo para elevar a taxa de escoamento superficial e, conseqüentemente, diminuindo a infiltração e recarga dos aquíferos.

Desperdícios verificados na agricultura irrigada, indústria e sistemas de abastecimento têm estimulado uma série de discussões sobre o uso da água e seu gerenciamento, uma vez que a água tem se tornando um bem cada vez mais escasso. Surgem a partir daí, idéias de desenvolvimento sustentável e gestão de recursos naturais. Criada em janeiro de 1997, a Lei 9.433 define bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, devendo sempre proporcionar o uso múltiplos das águas.

Uma ferramenta de gestão de recursos naturais que vem sendo discutida como uma nova modalidade de planejamento é o planejamento ambiental. A gestão ambiental pode ser entendida como um processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que se interagem no espaço das bacias hidrográficas, visando garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos ambientais (naturais, econômicos e socioculturais) às especificidades do meio ambiente.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para planejamento e gerenciamento ambiental, através da elaboração e análise de diferentes cenários de uso dos recursos ambientais, considerando variações temporais dos mesmos, visando dar subsídios à geração de mecanismos de manejo da bacia hidrográfica. Como os processos ambientais apresentam variabilidade temporal e espacial, a interação modelagem hidrológica e SIG constitui-se em uma ferramenta eficiente para a modelagem ambiental. Neste sentido, esta pesquisa foi desenvolvida utilizando o programa computacional Quantum Gis (QGis), um sistema de informação geográfica de interface Windows, Linux, Unix e MacOSX que suporta arquivos Shape(shp), Tif, PostGIS, GRASS entre outros e permite editar e criar layers de mapas.

A presente dissertação de mestrado é composta de dois capítulos principais, estruturados na forma de artigos. O primeiro é intitulado ‘Caracterização ambiental e fisiográfica da sub-bacia do Riacho das Capivaras’, neste artigo foram levantadas as características ambientais e fisiográficas através de informações do Relatório Técnico da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe, elaborado no ano de 2006, cartas planialtimétricas, cadastral, de declividade e de uso e ocupação do solo, shapes e levantamento de campo, os quais foram manipulados em um SIG por meio do programa QUANTUM GIS (QGis) com objetivo de fornecer subsídios para as ferramentas de planejamento e gestão ambiental.

No segundo capítulo, intitulado ‘Aplicação de modelo hidrológico na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE, como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental’, diferentes cenários de uso dos recursos ambientais - considerando variações temporais dos mesmos - foram elaborados e em seguida, analisados mediante a aplicação do método do Soil Conservation Service (SCS), que estimou o escoamento superficial em cada cenário proposto. Esta metodologia permite a avaliação prévia da influência de um plano de manejo sob o aspecto o escoamento superficial e, conseqüentemente, o fluxo de rios e recarga de água, infiltração em determinada bacia hidrográfica.

2. Referencial teórico

Os ecossistemas naturais terrestres, que ocorrem em todo o Planeta, têm sido alterados e deslocados com a introdução de agroecossistemas. Ecossistema é qualquer biossistema que abrange todos os organismos que funcionam em conjunto (a comunidade biótica) numa dada área, interagindo com o ambiente físico de tal forma que um fluxo de energia produza estruturas bióticas claramente definidas e uma ciclagem de materiais entre as partes vivas e não vivas (ODUM, 1988). O agroecossistema é um ecossistema com presença de pelo menos uma população agrícola e que difere fundamentalmente dos ecossistemas naturais por ser regulado pela intervenção do homem na busca de determinado propósito (HART, 1980). É o complexo de ar, água, solo, plantas, animais, micro-organismos, e tudo que está vinculado a uma área modificada pelo homem com propósito da produção agrícola, independente da extensão (MARTEN, 1988). De forma simplificada, é o complexo sistema agro-sócio-econômico-ecológico ligado em várias dimensões (CONWAY, 1987). Os Agroecossistemas são demarcados a partir de sua definição como ecossistemas terrestres implantados pelo homem que, ao diminuir deliberadamente a diversidade biótica, busca lograr, pelo controle desses ambientes “artificiais”, um mínimo de estabilidade. Entretanto, delinear as fronteiras exatas de um agroecossistemas é difícil (ALTIERI, 1989). Para SCHLINDWEIN e D’AGOSTINI (1998), sem refutar o enunciado, conceitos dessa categoria são demasiado “ecocêntrico”, pois, se limitam a considerar somente os elementos do meio físico, em seus componentes bióticos e abióticos, e suas inter-relações sem reconhecer os aspectos de ordem sócio-econômica e cultural, como elementos que se situam na gênese dos distintos agroecossistemas.

SIFUENTES (2004) considera agroecossistemas como os processos de trabalho e suas conotações técnicas e estão constituídos por objetos (cultivares, animais, plantas nativas e fauna silvestre), meios e forças de trabalho da unidade produção. Para estes autores, a diferença entre agroecossistemas e ecossistemas é o resultado da intervenção do homem para modificar os elementos físicos e biológicos do ecossistema para obter suas satisfações a partir das populações animal e vegetal, silvestre e doméstica. Esta intervenção está geralmente programada, o agricultor tem um propósito a cumprir com o sistema e o manejo seguindo um plano pré-concebido que permite alcançar sua reprodução social. A redução da biodiversidade quando do estabelecimento de um agroecossistemas implica em um maior custo entrópico, na medida em que são sistemas que o homem deliberadamente afastou do estado estacionário no qual originalmente encontravam-se (SCHLINDWEIN e D'AGOSTINI, 1998). Para avaliar o desempenho dos agroecossistemas, CONWAY (1987) sugere quatro propriedades primárias, baseadas nas relações entre as propriedades dos principais sistemas que contribuem com os efeitos do agroecossistema como um todo. São elas: produtividade, estabilidade, sustentabilidade e equidade, MARTEN (1987) ainda acrescenta autonomia como propriedade. As três primeiras propriedades correspondem, aproximadamente, às propriedades naturais de um ecossistema e as demais, não possuem relação direta com esse.

O processo de conversão de terras para produção agrícola tem causado um impacto negativo sobre a diversidade de organismos e processos ecológicos que compõem a paisagem. Embora outras formas de exploração humana do ambiente, como a mineração e urbanização, também contribuam para modificação do habitat em larga escala e para a perda de biodiversidade, a produção agrícola – incluindo aí o pastoreio e a produção de madeira – é, em boa parte, responsável pelas mudanças ambientais em nível de biosfera, as quais ameaçam o sistema de sustentação da vida na Terra (GLIESSMANN, 2001). A questão dos recursos hídricos têm sido a expressão de como os fatores ambientais e suas interações agem sobre um sistema modificando o seu desempenho. Estes recursos têm sofrido pressões constantes e significativas devido à crescente demanda por água nos centros urbanos, industriais e agrícolas, levando ao reconhecimento de que a função da bacia hidrográfica – como um sistema - não é, apenas, a produção de água. Uma bacia hidrográfica engloba todas as modificações que os recursos naturais venham a sofrer. Não existe área qualquer da Terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia ou micro-bacia, (CRUZ, 2003). A bacia pode ser definida como uma unidade física caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas

(MACHADO, 2002). Seu papel hidrológico é o de transformar uma entrada de água, de volume concentrada no tempo (precipitação), em uma única saída de água (escoamento) (GROSSI, 2003).

A água é um recurso natural renovável, único, essencial à vida, escasso e está distribuído de forma desigual no planeta, tornando o manejo e a preservação de bacias hidrográficas, temas relevantes nos últimos anos. O uso do solo associado a um dado relevo e tipo e manejo do solo é uma variável importante na definição do nível de degradação de uma bacia hidrográfica. A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. O efeito da vegetação pode ser assim enumerado: (a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; (b) dispersão da água, interceptando-a e facilitando a evaporação antes que atinja o solo; (c) decomposição das raízes das plantas que formam canículos no solo, aumentam a infiltração da água; (d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; (e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície (BERTONI e NETO, 1990). A cobertura vegetal desempenha papel regulador nos processos hidrológicos e as profundas alterações nesta cobertura vegetal, com eliminação de estruturas florestais que dão lugar a agroecossistemas, modificam por sua vez, a velocidade do escoamento superficial, fazendo com que as águas provenientes das precipitações escoem mais facilmente em direção a calhas de rios, desinibidas e carreando maior massa de materiais terrígenos que tenderão a depositar em áreas de declive mais reduzido, principalmente no leito dos fluxos organizados (LAGO, 1989).

MACHADO (2002), utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento, simulou o escoamento superficial e a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica na qual a maior parte da área era ocupada por cana-de-açúcar (56,2%) e de terrenos de menor declividade, enquanto que as encostas mais íngremes eram ocupadas por pastagem (30,9%). Ao simular a substituição das pastagens por vegetação nativa nas áreas de preservação permanente, como previsto em Código Florestal (Lei nº. 4.771/65), o escoamento superficial diminuiu, bem como a produção de sedimentos que foi reduzida em 84,4%. As pastagens, embora em intensidade um pouco menor que as florestas, fornecem grande proteção ao solo contra os estragos pela erosão. Seu trato pode afetar grandemente seu valor como revestimento do solo contra a erosão (BERTONI e NETO, 1990). AZEVEDO (2004) estudou a degradação do solo sob pastagens, diagnosticando-a qualitativamente e quantitativamente, para o entendimento dos índices de degradação. Este autor obteve índices de degradação

física, química e geral, a partir da quantificação de atributos físicos e químicos do solo e comparando-os com dados da vegetação natural de mesma toposequência.

BARRETO NETO (2004) desenvolveu um modelo dinâmico para avaliação da perda de solo e do escoamento superficial a partir da simulação de diferentes cenários de usos do solo da bacia hidrográfica do Rio Quilombo, localizado no Vale do Ribeira-SP. Dentre os cenários simulados a cobertura florestal foi a que proporcionou menor perda de solo, visto que as florestas possuem um alto potencial de retenção de água devido a sua alta capacidade de interceptação, evapotranspiração e infiltração. O cenário de solo exposto apresentou os maiores valores de perda de solo, resultado previsível, uma vez que nessa situação o solo não apresenta nenhuma proteção contra as chuvas e o escoamento superficial

Estudo realizado na sub-bacia do Riacho Una em Sapé/PB verificou que a baixa ocorrência de processos erosivos e o baixo risco de degradação da terra estão associados, predominantemente, a relevos planos e suaves ondulado, onde a cobertura do solo é formada por mata, cerrado, cana-de-açúcar e pasto. Em contraposição, as maiores taxas de risco de degradação, terras incluídas nas classes alta e muito alta, se relacionam com a categoria de uso correspondente a culturas temporárias (MENDONÇA,2005).

FERREIRA et. al. (2007) verificaram que, baseado no percentual de escoamento superficial de 46,6% e no valor de vazão máxima de $23,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, avaliados em conjunto com informações de relevo e solo, a bacia do Córrego João Pedro (ES), possui boa infiltração de água no solo o que favorece as atividades agrícolas. Nesta bacia, a classe de uso do solo predominante é a floresta natural (46,6%) o que do ponto de vista hidrológico, é um bom resultado, já que áreas cobertas por florestas tendem a apresentar boa infiltração. Além da floresta, a área estudada é ocupada por pastagem (35,8%) e agricultura (11,6%). As categorias solos expostos (3,4%) e uso urbano (2,6%) correspondem às áreas de ocupação no mapeamento realizado.

O uso e ocupação do solo não só interferem na qualidade da água, como também causam alterações nos ecossistemas aquáticos. CORBI (2006) analisou a influência de diferentes práticas de manejos de solo sobre os macro-invertebrados aquáticos de córregos localizados em áreas adjacentes, com especial ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar, na bacia do Rio Jacaré-Guaçu (SP). Os córregos protegidos por mata ciliar apresentaram uma fauna de macro-invertebrado mais rica e heterogenia do que em córregos situados em áreas abertas que são habitados por uma fauna mais homogênea e pobre. BRABEC et al. (2008), em revisão sobre a impermeabilização de superfícies e a qualidade da água para o manejo de

bacias hidrográficas, verificaram que a biota é afetada pela combinação de fatores físicos e químicos que influenciam a qualidade da água e está mais suscetível à destruição de seu habitat.

O manejo sustentável de agroecossistemas requer o conhecimento de como os fatores individuais afetam organismos cultivados e como todos os fatores interagem para formar o complexo ambiental. É necessário saber como os fatores interagem, compensam, favorecem e se opõem uns aos outros. Também é preciso conhecer a extensão da variabilidade presente na unidade produtiva, de área para área e dentro de cada uma (GLIESSMANN,2001).

O uso múltiplo de uma bacia hidrográfica exige um plano adequado de manejo. Cada bacia hidrográfica deve ter um plano de utilização integrada de recursos hídricos, o qual deve constituir o referencial para todas as decisões e intervenções setoriais nestes recursos (CRUZ, 2003). O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos, (HEIN, 2000).

A gestão ambiental, institucionalizada pelas conferências mundiais sobre meio ambiente, entendida como um processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que se interagem no espaço das bacias hidrográficas, é implementada através de políticas ambientais; planejamento ambiental e gerenciamento ambiental.

Entende-se por políticas ambientais os modelos administração adotado por um governo ou empresa para utilização sustentável do meio ambiente. O gerenciamento ambiental é o conjunto de ações destinado a regular o uso, controle, proteção e conservação do meio ambiente, e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política ambiental. Planejamento ambiental, segundo análise de PERES e MEDIONDO (2004), é todo planejamento das ações antrópicas no território levando em conta a capacidade de suporte dos ecossistemas em nível local e regional sem perder de vista as questões de equilíbrio das escalas maiores, visando à melhoria da qualidade de vida dentro de uma ética ecológica como base nas interações que a mantém. O planejamento conservacionista das terras, para MINOTTI (2006), é de fundamental importância para a conservação do solo, controle da perda de sedimentos e água, gerando informações importantes para o processo de tomada de decisão no gerenciamento de bacias hidrográficas.

Uma etapa fundamental do processo de planejamento é caracterização ambiental, baseada no levantamento de dados e informações e no conhecimento da área a ser planejada.

A carência de banco de dados e sistemas de análises funcionais tem sido um fator limitante para aplicação em modelos hidrológicos, nos quais se pode qualificar, quantificar, simular e prever riscos ambientais. O uso de ferramentas como sistemas de informações geográficas (SIGs) são muito úteis por terem como vantagem a capacidade de armazenar, manipular, transformar, analisar e exibir informações georreferenciadas, contidas em mapas e/ou banco de dados, gerando novas informações (GIBOSHI, 2006). Como os processos ambientais são dinâmicos (apresentam variação temporal e espacial), a interação modelagem dinâmica e SIG, constitui-se uma poderosa ferramenta para modelagem ambiental (BARRETO NETO, 2004).

Uma estratégia eficaz de planejamento ambiental pode se basear na definição de cenários que permitam uma avaliação constante do nível de sustentabilidade do processo sócio-econômico. Os cenários são imagens alternativas de futuro, ricas em indicadores para contribuir na tomada de decisões. Esse instrumento, baseado em um conjunto de dados comparados, sobrepostos e avaliados de maneira integrada aponta diversas projeções de situações para uma determinada área de intervenção tendo em vista a solução de um problema ou a melhora de uma condição presente impactante (PERES e MEDIONDO, 2004).

Neste sentido, a elaboração de cenários ambientais que levem em conta a vulnerabilidade do sistema ambiental e a aplicação de um modelo hidrológico, como técnica complementar de avaliação dos impactos inerentes aos diferentes tipos de uso de solo e manejo do agroecossistema no escoamento superficial, constituem a metodologia que será aplicada como protótipo na sub-bacia do Riacho das Capivaras e poderá servir de base para orientar o manejo de outras bacias em todo Estado de Sergipe.

3. Referências Bibliográficas

ALTIERI, M. A. **Agroecologia. As bases científicas da agricultura alternativa.** Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. 240p.

ANJOS, J. Â. S. A. **Cobrac, Plumbum, Trevisan - Estudo do Passivo Ambiental, Santo Amaro da Purificação.** In: Seminário sobre Contaminação por Metais Pesados em Santo Amaro da Purificação, Santo Amaro da Purificação, 2001.

AZEVEDO, E. C. de. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso.** 2004. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UNICAMP, Campinas, 2004.

BARRETO NETO, A. Z. **Modelagem dinâmica de processos ambientais.** 2004. 137f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 2004.

BERTONI, J.; NETO, F. L., **Conservação do solo.** 3ª. Ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BRABEC, E.; SCHULTE, S. RICHARDS, P. L. Impervious surfaces and water quality: A review of current literature an its implications for watershad planning. **Journal of Planning Literature**, n.16; p.499, 2002.

CONWAY, G. R. The properties of agroecosystems. **Agricultural Systems**, Great Britain, n. 24, p.95-117, 1987.

CORBI, J. J. **Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo da cana-de-açúcar em áreas adjacentes.** 2006. 92f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba – MG.** 2003. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2003.

FERREIRA, D. S.; RIBEIRO, C. A. D.; CECILIO, R. A.; XAVIER, A. C. Estimativa do escoamento superficial na bacia do Córrego João Pedro através de técnicas de geoprocessamento. In: I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007, p. 163-169.

GIBOSHI, M. L.; RODRIGUES, L. H. A; NETO, F. L. Sistema de suporte à decisão para recomendação de uso e manejo da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol.10, n.4, 2006.

GLIESSMANN, S. R. **A interação entre agroecossistemas e ecossistemas naturais.** In: Gliessmann, S. R. Agroecologia – Processos ecológicos em Agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p. 539-560, 2001.

GLIESSMANN, S. R. **O complexo ambiental.** In: Gliessmann, S. R. Agroecologia – Processos ecológicos em Agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, p. 329-339, 2001.

GROSSI, C. H. **Sistema de informação geográfica – Basins 3.0 na modelagem hidrológica da Bacia experimental do Rio Pardo - SP.** 2003. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP), Botucatu, 2003.

HART, R. D. **Agroecossistemas: conceptos básicos.** Turrialba, CATIE, 1980. 211p. (CATIE. Serie materialis de ensenanza, 1).

HEIN, M. **Espacialização de duas micro-bacias hidrográficas do Rio Piracicaba para modelagem hidrológica.** 2000.0307p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

LAGO, P.F. Enchentes – Erosão – Vegetação. In: II Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. **Anais...** Florianópolis, SC, p. 258-266, 1989.

MACHADO, E. M. de. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. 154f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2002.

MARTEN, G. G. Productivity, Stability, Sustainability, Equability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment. **Agricultural System.** Great Britain, n.26, p. 291-316, 1988.

MENDONÇA, I. F. C. de. **Adequação do uso agrícola e estimativa da degradação ambiental das terras da micro-bacia hidrográfica do Riacho Una, Sapé, PB.** 2005. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola - Universidade de Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2005.

MINOTI, R. T. **Abordagens qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi-Superior/ SP.** 2006. 247f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2006.

ODUM, E. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434p.

PERES, R. B.; MENDIONDO, E. M. **Desenvolvimento de cenários de recuperação como instrumento ao planejamento ambiental e urbano – bases conceituais e experiências práticas.** In. Seminário NEUR/CEAM, 2004, Brasília, DF A Questão Ambiental e Urbana: Experiências e Perspectivas, Brasília NEUR/CEAM, UnB, 2004. Disponível em: www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes%5C31%5CPeres-Mendiondo-2004-NEUR-CEAM-Artigo1.pdf, consultado em 25 out 2007.

RUHOFF, A. L.; SOUZA, B. S. P.; GIOTTO, E.; PEREIRA, R. S. **Modelagem e dinâmica de uso e cobertura da terra na Bacia do Arroio Grande / RS.** Artigo. Santa Maria: UFSM, 2004. Disponível em www.ufsm.br/mundogeo/ /Publicacao_arquivos/Geografares-modelagem_Ambiental.pdf, consultado em 25 out 2007.

SCHLINDWEIN, S. L.; D'AGOSTINI, L. R. Sobre o conceito de agroecossistema. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 1998, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBS, 1998

SIFUENTES, J. A. M. **Sistemas de Producción Agropecuario**. Departamento de Ciências Biológicas. Universidad de Gualadajara. Tepatitlán de Morelos, Jalisco – México. 2004. 239p.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E FISIAGRÁFICA DA SUB-BACIA DO RIACHO DAS CAPIVARAS

1. Resumo

ROSAS, Fabrícia Nascimento. **Aplicação de modelo hidrológico na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE, como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental.** 2009.115 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.¹

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fazer a caracterização ambiental e fisiográfica da sub-bacia do Riacho das Capivaras, localizada no município de Estância-SE. Foram utilizadas cartas planialtimétricas, cadastral, de declividade e de uso e ocupação do solo e levantamento de campo, os quais foram manipulados em um SIG por meio do programa QUANTUM GIS (QGis). Em decorrência do desmatamento progressivo, queimada, e erosão do solo e das margens do rio, a sub-bacia apresenta um quadro de impacto ambiental alarmante, induzido pela necessidade de geração de renda por meio da atividade agrícola e exploração mineral. Esta sub-bacia possui 56,5% de sua área ocupados por pastagens, 29,53% por mata atlântica em diferentes estágios de regeneração, 9,11% por agricultura, 3,11% de área degradada (solos expostos) e 1,75% de construções rurais e estradas. Estas formas de ocupação estão organizadas em agroecossistemas de baixo desempenho (produtividade, estabilidade, sustentabilidade, equidade e autonomia). A área de drenagem da sub-bacia do Riacho das Capivaras é de 23,87 km², com perímetro de 28,5 km e declividade média de 17,9%. Os valores do coeficiente de compactidade, do fator de forma e do índice de circularidade, indicam que a sub-bacia apresenta forma alongada, mostrando-se pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação. No entanto, o elevado nível de degradação promovido pela supressão da vegetação de áreas consideradas de preservação permanente pelo Código Florestal (apenas 13,27% da área total de APP's na sub-bacia são preservados) pode torná-la susceptível a enchentes, com significativa produção de sedimentos. A situação atual de ocupação da sub-bacia mostra a necessidade de um planejamento para a recuperação das áreas de preservação permanente, ações mais efetivas sobre gestão ambiental e dos recursos hídricos e um manejo adequado dos agroecossistemas.

Comitê orientador: Arisvaldo Vieira Mello Júnior – DEA/UFS (orientador), Alceu Pedrotti – DEA/UFS, Marcus Aurélio Soares Cruz- CPATC/ EMBRAPA.

2. Abstract

ROSAS, Fabrícia Nascimento. **Aplicação de modelo hidrológico na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE, como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental.** 2009.115 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.¹

This study aimed to make the physiographic and environmental characterization of the “Riacho das Capivaras” basin, located in the city of Estância-SE. Topographic, cadastral, slope, use and occupancy of land maps were processed in a Geographic Information System, using QUANTUM GIS (QGis). Because of progressive deforestation, burning, soil and river banks erosion, the basin presents a framework for environmental impact alarmingly, driven by the need to generate income through agricultural activity and mineral exploitation. The basin has 56.5% of its area occupied by pastures, 29.53% rainforest in different stages of regeneration, 9.11% agriculture, 3.11% degraded area (exposed soils) and 1.75% rural buildings and roads. These forms of occupation are organized in agricultural ecosystems of low performance. The area of drainage of the “Riacho das Capivaras” basin is 23.87 km², with perimeter of 28.5 km and a mean slope of 17.9%. The values of the coefficient of compactness, form factor and the index of circularity, indicate that the basin shows elongated shape and flooding are unlikely under conditions of normal rainfall. However, the high level of degradation promoted by removal of the vegetation of permanent preservation areas considered by the Forest Code can make it prone to flooding, with significant production of sediment. The current occupation state of the basin shows the necessity of a planning for the permanent recovery areas, more effective action on environmental management and water resources and an adequate management of agroecosystems.

Guidance Committee: Arisvaldo Vieira Mello Júnior – DEA/UFS (Major professor), Alceu Pedrotti – DEA/UFS, Marcus Aurélio Soares Cruz- CPATC/ EMBRAPA.

3. Introdução

A caracterização dos aspectos físicos e morfológicos de uma bacia hidrográfica, com o intuito de levantar as áreas críticas do ponto de vista da manutenção da água, é condição básica para o planejamento bem sucedido da conservação e produção de água.

Uma das características é a classe de declividade, conhecê-la visa atender à legislação específica para ordenamento do uso da terra, bem como, tem relação importante com vários processos hidrológicos a exemplo da infiltração e do escoamento superficial. A infiltração também é influenciada pelo uso da terra, e pode ser modificada pelo homem através do agroecossistema implantado e do manejo adotado. O agroecossistema é um ecossistema com presença de pelo menos uma população agrícola e que difere fundamentalmente dos ecossistemas naturais por ser regulado pela intervenção do homem na busca de determinado propósito (HART, 1980). É o complexo de ar, água, solo, plantas, animais, micro-organismos, e tudo que está vinculado a uma área modificada pelo homem com propósito da produção agrícola, independente da extensão (MARTEN, 1988). SIFUENTES (2004) considera agroecossistemas como os processos de trabalho e suas conotações técnicas e estão constituídos por objetos (cultivares, animais, plantas nativas e fauna silvestre), meios e forças de trabalho da unidade produção. Para este autor, a diferença entre agroecossistemas e ecossistemas é o resultado da intervenção do homem para modificar os elementos físicos e biológicos do ecossistema para obter suas satisfações a partir das populações animal e vegetal, silvestre e doméstica. Esta intervenção é geralmente programada, o agricultor tem um propósito a cumprir com o sistema e o manejo, seguindo um plano pré-concebido que permite alcançar sua reprodução social. A redução da biodiversidade quando do estabelecimento de um agroecossistema implica em um maior custo entrópico, na medida em que são sistemas que o homem deliberadamente afastou do estado estacionário no qual originalmente encontravam-se (SCHLINDWEIN e D'AGOSTINI, 1998).

As constantes modificações no uso do solo provocam significativas alterações no balanço de água, com reflexos nas camadas superficiais e sub-superficiais, ocorrendo erosão, transporte de sedimentos e elementos químicos bioativos, causando alterações no sistema ecológico e na qualidade da água (TOLEDO, 2001). O instrumento legal mais importante para disciplinar o uso das terras é o Código Florestal, instituído pela Lei Federal nº. 4771/65. A cobertura vegetal desempenha papel regulador nos processos hidrológicos e as profundas alterações nesta cobertura, com eliminação de estruturas florestais que dão lugar a

agroecossistemas, modificam por sua vez, a velocidade do escoamento superficial, fazendo com que as águas provenientes das precipitações escoem mais facilmente em direção a calhas de rios, desinibidas e carreando maior massa de materiais terrígenos que tenderão a depositar em áreas de declive mais reduzido, principalmente no leito dos fluxos organizados (LAGO, 1989).

Dentro deste contexto, o presente estudo tem o objetivo de avaliar as características ambientais e fisiográficas da bacia do Riacho das Capivaras, verificando o cumprimento da legislação ambiental em relação ao uso e ocupação do solo da bacia, especialmente nas áreas de preservação permanentes. Na avaliação serão utilizados recursos de sistema de informações geográficas para criar um modelo representativo do cenário atual que possibilite a obtenção de dados que possam dar subsídio aos mecanismos de manejo da bacia hidrográfica.

4. Referencial Teórico

A crescente demanda por água nos centros urbanos, industriais e agrícolas exerce, pressão constante e significativa sobre os recursos hídricos, levando ao reconhecimento de que a função da bacia hidrográfica não é, apenas, a produção de água. Uma bacia hidrográfica engloba todas as modificações que os recursos naturais venham a sofrer. Não existe área qualquer da Terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia ou micro-bacia, (CRUZ, 2003). A bacia pode ser definida como uma unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas (MACHADO, 2002). A bacia hidrográfica também pode ser caracterizada como um volume, por possuir uma distribuição tridimensional que se inicia com os usos da terra, passa pelo perfil de solo e engloba as rochas que sustentam a bacia (PRADO, 2005).

Seu papel hidrológico é o de transformar uma entrada de água, de volume concentrada no tempo (precipitação), em uma única saída de água (escoamento) (GROSSI, 2003). Sob este aspecto, a sub-bacia hidrográfica, pode ser considerada como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante (MOLDAN e CERNY, 1994). Ambientalmente, pode-se dizer que a bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os

impactos das interferências antrópicas, tais como a ocupação das terras com as atividades agrícolas (JENKIS et al., 1994).

A água é um recurso natural renovável, escasso e está distribuído de forma desigual no planeta, tornando o manejo e a preservação de bacias hidrográficas, temas relevantes nos últimos anos. Para FAUSTINO (1996), o manejo de bacias hidrográficas é uma ciência ou arte que trata da gestão para se conseguir o uso apropriado dos recursos naturais em função da intervenção humana e suas necessidades, proporcionando ao mesmo tempo a sustentabilidade, a qualidade de vida, o desenvolvimento e o equilíbrio do meio ambiente.

O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos, (HEIN, 2000). A eleição da micro-bacia como unidade de planejamento traz, entre outras, as seguintes vantagens: (a) racionaliza a aplicação de recursos; (b) estimula a organização dos produtos; (c) reduz custos; (d) promove a execução de práticas conservacionistas de forma integrada; (e) reduz riscos ambientais; e (f) realimenta mananciais (BRAGAGNOLO, 1997). Cada bacia hidrográfica deve ter um plano de utilização integrada de recursos hídricos, o qual deve constituir o referencial para todas as decisões e intervenções setoriais nestes recursos (CRUZ, 2003).

A qualidade d' água dos corpos hídricos está relacionada à geologia, ao tipo de solo, ao clima, ao tipo e quantidade de cobertura vegetal e ao grau de modalidade de atividade humana dentro da bacia hidrográfica (VALENTE e CASTRO, 1987). E, embora o uso e ocupação das bacias hidrográficas influenciem, segundo RANZINI (1990) em última instância, a qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas, não significa dizer que estas variáveis sejam menos importantes que as demais, até porque, são as únicas que podem ser modificadas pelo homem em função dos mais diversos propósitos. A presença da cobertura do solo proporciona uma diminuição do escoamento superficial, da capacidade de transporte de agregados, do processo de selamento superficial, e um aumento da taxa de infiltração da água no solo. A freqüente retirada de vegetação, para implantação a agroecossistemas de baixo nível tecnológico produz um efeito final que pode ser observado na degradação acelerada dos solos e das águas superficiais e subterrâneas (GOUDIE, 1995).

MACHADO (2002), utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento, simulou o escoamento superficial e a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica na qual a maior parte da área era ocupada por cana-de-açúcar (56,2%) e de terrenos de menor declividade, enquanto que as encostas mais íngremes eram ocupadas por pastagem (30,9%).

Ao simular a substituição das pastagens por vegetação nativa nas áreas de preservação permanente, como previsto em Código Florestal (Lei nº. 4.771/65), o escoamento superficial diminuiu, bem como a produção de sedimentos que foi reduzida em 84,4%.

SILVA et al. (2001) relatam que quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, tanto menor a ocorrência de perda do solo e menor degradação da água, notadamente nas regiões tropicais e subtropicais. DONADIO et al. (2005) avaliaram a influência de remanescentes de vegetação ciliar e da ação antrópica na qualidade da água, em quatro nascentes da bacia hidrográfica do Córrego Rico, localizadas nos municípios de Taquaritinga e de Guariba – SP. Nas nascentes com vegetação natural remanescente, a qualidade da água mostrou-se melhor que nas nascentes com uso agrícola, sendo as variáveis cor, turbidez, alcalinidade e nitrogênio total as que mais explicaram essas diferenças.

Estudos feitos por GARCIA et al. (2006) revelam que a inadequação de uso do solo, devido à rápida expansão da cultura da cana-de-açúcar em áreas não recomendadas, especialmente em função do relevo e do tipo de solo da bacia avaliada, potencializa o processo erosivo dos solos cujos sedimentos são carreados para os cursos d'água, juntamente com componentes dos fertilizantes utilizados nas culturas. Igualmente, o tipo de cobertura do terreno afeta o volume de água dos rios locais, pelo aumento do deflúvio em detrimento da infiltração. Isto ocasiona aumento na erosão e diminuição na capacidade de recarga dos aquíferos subordinados ao sistema.

BORGES et al. (2006) quantificaram o reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, em Jaboticabal/SP, proposto na metodologia Florestamentos Compensatórios para Retenção de Água em Micro-bacias (FCRAM). Esta metodologia estima a retenção de água em micro-bacias considerando: o valor médio mundial de destino da água no ciclo ecológico, os usos/ocupação do solo (floresta, pastagem e agricultura) e a estimativa da permeabilidade. A bacia do Córrego Palmital possui 86% de sua área ocupada por agricultura e 5% ocupados por pastagens, as florestas respondem por apenas 2% da área total. Para reter o volume total de água, estimado em metodologia FCRAM, para compensar a perda que ocorre em excesso nas áreas de pastagens e agricultura, os autores propõem o reflorestamento compensatório de 8,87% da área da bacia.

FERREIRA et al. (2007) verificaram que, baseado no percentual de escoamento superficial de 46,6% e no valor de vazão máxima de $23,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, avaliados em conjunto com

informações de relevo e solo, a bacia do córrego João Pedro (ES), possui boa infiltração de água no solo o que favorece as atividades agrícolas. Nesta bacia, a classe de uso do solo predominante é a floresta natural (46,6%) o que do ponto de vista hidrológico, é um bom resultado, já que áreas cobertas por florestas tendem a apresentar boa infiltração. Além da floresta, a bacia do córrego João Pedro é ocupada por pastagem (35,8%) e agricultura (11,6%). As categorias solos expostos e uso urbano correspondem a 3,4% e 2,6%, respectivamente.

O uso e ocupação do solo não interferem apenas na qualidade da água, também causam alterações nos ecossistemas aquáticos. CORBI (2006) analisou a influência de diferentes práticas de manejos de solo sobre os macro-invertebrados aquáticos de córregos localizados em áreas adjacentes, com especial ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar, na bacia do Rio Jacaré-Guaçu (SP). Os córregos protegidos por mata ciliar apresentaram uma fauna de macro-invertebrado mais rica e heterogênia do que em córregos situados em áreas abertas que são habitados por uma fauna mais homogênea e pobre. Os córregos protegido por mata ciliar apresentaram uma fauna de macro-invertebrado mais rica e heterogênia do que em córregos situados em áreas abertas que são habitados por uma fauna mais homogênea e pobre. BRABEC et al. (2008), em revisão sobre a impermeabilização de superfícies e a qualidade da água para o manejo de bacias hidrográficas, verificaram que a biota é afetada pela combinação de fatores físicos e químicos que influenciam a qualidade da água e está mais suscetível à destruição de seu habitat.

A partir dos estudos citados é possível perceber que o uso e ocupação do solo exercem influência nos ecossistemas (terrestres e aquáticos), na produção e qualidade da água. Sendo assim, propor um plano de manejo para uma bacia hidrográfica, em suma, refere-se ao ordenamento do uso e ocupação da paisagem, aptidões de cada segmento e sua distribuição espacial, observadas as características fisiográficas da respectiva bacia hidrográfica. Para PIRES e SANTOS (1995), o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas devem incorporar todos os recursos naturais/ambientais da área de drenagem da bacia e não apenas o hídrico. Deve integrar os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais, com ênfase ao primeiro, pois a capacidade ambiental de dar suporte ao desenvolvimento possui sempre um limite, a partir do qual, outros aspectos serão inevitavelmente afetados. Em outras palavras, as características intrínsecas de cada sub-bacia hidrográfica condicionam seu uso e a ocupação, determinando suas potencialidades e limitações.

5. Material e Métodos

5.1. Área de Estudo

A sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras localiza-se na região sul do Estado de Sergipe, no município de Estância, entre as coordenadas geográficas 11°08' e 11°14' de latitude sul, e 37°26' e 37°29' de longitude oeste. (Figura 1).

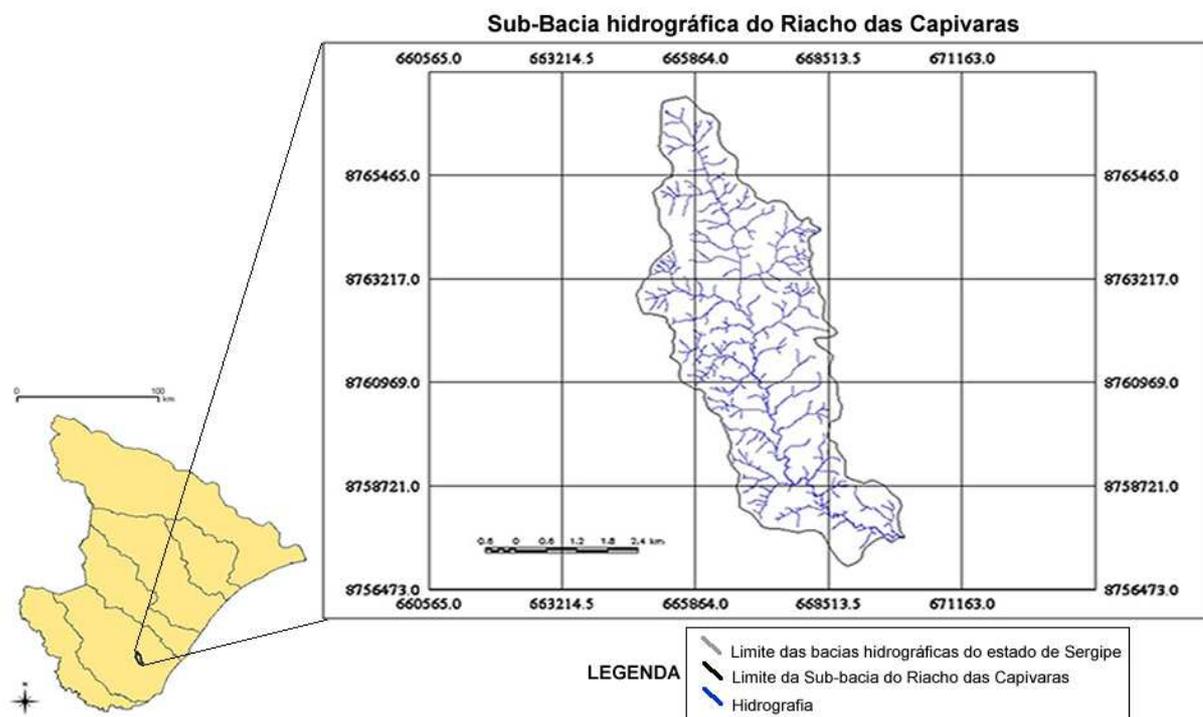


FIGURA 1. Localização da sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras.

Climatologicamente o regime pluviométrico da área em análise é do tipo marítimo pela classificação de Köppen. Definindo-se por um período seco de primavera a verão, representado pelos meses de setembro a fevereiro, e um período chuvoso de outono a inverno, abrangendo os meses de março a agosto (Figura 2). Devido à influência inter-tropical da área, as temperaturas médias compensadas anuais oscilam entre 23,6°C e 26,9°C e umidade relativa média anual de 80,5% (SEPLAN/SRH-SE, 2006). O Riacho das Capivaras é importante contribuinte do Rio Piauí e está inserido na bacia hidrográfica de mesmo nome. Possui uma área de drenagem de 23,87 Km² e compreende os municípios sergipanos de Estância e Salgado (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

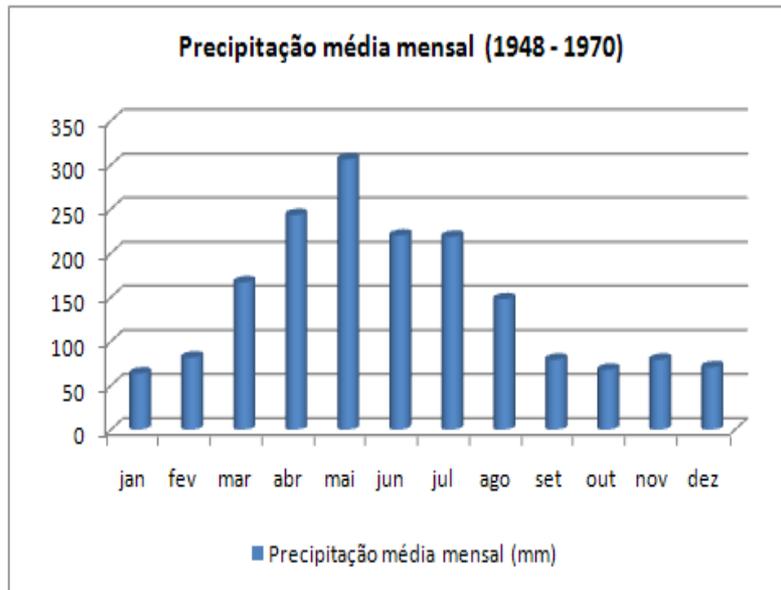


FIGURA 2. Precipitação pluviométrica média mensal na sub-bacia do Riacho das Capivaras no período de 1948-1970 (ANA).

Esta sub-bacia sofre pressões antrópicas desde sua nascente até seu deságüe no Rio Piauitinga, também afluente do Rio Piauí. Ela abrange noventa e nove estabelecimentos, incluindo os povoados Jurema e Fonte Nova, além de uma indústria de beneficiamento de leite, fora de atividade. As propriedades rurais são, predominantemente, minifúndios de até 10 ha, ocupados na sua maioria por pastagens para criação extensiva de pequenos rebanhos, agricultura de subsistência, extração de areia e alguns pequenos remanescentes de mata em diferentes estágios de antropização e/ou sucessão ecológica. Não há rede pública de esgotamento sanitário, apenas sumidouros para descarte de efluentes sólidos e líquidos (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

5.2. Levantamento fisiográfico da sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras

Os dados do levantamento fisiográficos foram obtidos através de cartas digitais em ambiente CAD (escala 1:400.000) e de Sistema de Informações Geográficas, no formato Shapefile, manipuladas por meio do programa Quantum Gis (QGis). As cartas e informações geográficas utilizados fazem parte do Relatório Técnico produzido pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (SEPLAN-SRH/SE) no ano de 2006. Estes dados referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética, pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência

litólica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região (CHRISTOFOLETTI, 1980).

5.2.1. Área da Bacia

A área de uma bacia hidrográfica é toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal (CHRISTOFOLETTI, 1980). Foi utilizado o software Quantum Gis para realização do cálculo da área.

5.2.2. Comprimento da Bacia

Para realização deste cálculo foi utilizado o software Quantum Gis.

5.2.3. Fator de Forma (Ff)

As bacias hidrográficas têm uma variedade infinita de formas, que supostamente refletem o comportamento hidrológico da bacia. O fator de forma relaciona a forma da bacia com a de um triângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A forma de uma bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode atuar sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia (CARDOSO et al, 2006). O fator de forma (Ff) foi determinado utilizando-se a Equação 1.

$$Ff = \frac{B}{L} \quad (1)$$

em que:

L = Comprimento axial da bacia (km)

B = Largura média (km) = $\frac{1}{n} \sum B_i$

O fator de forma é um índice indicativo da tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que em uma bacia estreita

e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão; e também numa tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se da condição ideal de uma bacia circular na qual a concentração de todo o deflúvio da bacia se dá num ponto só (CHRISTOFOLETTI, 1980).

5.2.4. Coeficiente de compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade relaciona a forma da bacia com um círculo, constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia. Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais o próximo da unidade (CHRISTOFOLETTI, 1980). O Kc foi determinado baseado na Equação 2.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

em que:

P = Perímetro da bacia (km)

A = Área da bacia (km²)

5.2.5 Índice de Circularidade (IC)

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (CHRISTOFOLETTI, 1980). Para isso, utilizou-se a Equação 3.

$$IC = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

em que:

A = Área da bacia (km²)

P = Perímetro da bacia (km)

5.2.6. Declividade média da Bacia

A declividade média é calculada pela média das divisões das diferenças de duas cotas com o comprimento do segmento de reta entre elas em várias posições da bacia. Foi utilizado o software Quantum Gis para realização da declividade média (Quantum GIS, 2006).

5.2.7 Declividade média do rio principal

A velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes. Obtém-se a declividade de um curso d'água, entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esse dois pontos, sendo desprezados trechos extremos. A declividade do canal pode ser descrita por meio da Equação 4.

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (4)$$

em que:

S = Declividade (m/m);

H = Diferença de cota entre os pontos que definem o início e o final do canal (m);

L = Comprimento do canal entre esses pontos (m).

5.2.8. Densidade dos cursos d'água (Ds)

Densidade dos cursos d'água envolve a relação entre o número de cursos d'água (rios perenes e intermitentes) e a área total da bacia. Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de tamanho padrão (CHRISTOFOLETTI, 1980). O rio principal é contado apenas uma vez de sua nascente até a foz. A ordem dos cursos d'água reflete no grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Os tributários de ordem superior são contados da sua nascente até a junção com o rio de

ordem superior. A densidade de cursos d'água não indica a eficiência da drenagem, pois a extensão dos cursos d'água não é levada em conta. A densidade dos cursos d'água pode ser descrita por meio da Equação 5.

$$D_s = \frac{N_s}{A} \quad (5)$$

em que:

N_s = Número de cursos d'água

A = Área da bacia (km^2)

O cálculo da densidade de rios é importante porque representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos de água (CHRISTOFOLETTI, 1980).

5.2.9. Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980). O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários. Seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo assim, o índice indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede sejam eles perenes, intermitentes ou temporários, e a área total da bacia (Equação 6). Um valor alto para Dd indicaria uma densidade de drenagem relativamente alta e uma resposta rápida da bacia a uma precipitação.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (6)$$

em que:

Dd = Densidade de drenagem (km/km^2);

Lt = Comprimento total de todos os canais (km);

A = Área de drenagem (km²).

5.3. Levantamento dos aspectos ambientais

Para levantamento dos aspectos ambientais da sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras considerou-se as informações e mapas de uso e ocupação do solo (escala 1:400.000) e de área de preservação permanente, que compõem Relatório Técnico elaborado pela Secretaria de Recursos Hídricos de Sergipe em 2006. Para quantificar os tipos de uso conflitantes da terra, estes mapas foram comparados através do Quantum GIS. Os resultados foram avaliados de acordo com os padrões estabelecidos pela Constituição Federal, Leis Federais nº 4.771/65 e legislação ambiental correlata.

5.3.1. Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanentes (APP's)

O Código Florestal, Lei Federal nº 4.771/65, em seu artigo primeiro, estabelece que as florestas existentes no território nacional e demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação preceitua. Neste mesmo artigo estão conceituadas as Áreas de Preservação Permanente (APP's) e Áreas de Reserva Legal (ARL's). São áreas com funções distintas, embora na prática sejam confundidas.

A MP 2.166-67, de 2001, estabelece que as APP's são áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar aos recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, estão protegidas nos termos dos artigos 2º e 3º do Código Florestal e têm seus limites definidos no Art. 3º da Resolução CONAMA 303/02.

De acordo com a Lei Federal nº 7.803, de 1989, consideram-se como APP's as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: a) ao longo dos rios ou cursos d'água, cuja largura mínima varia proporcionalmente à largura dos cursos d'água; b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais; c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água; d) no topo dos morros, montes, montanhas e serras; e) nas encostas ou parte destas, com declividade superior a 45º; f) nas restingas, como

fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas; h) em altitude superior a 1.800 m, qualquer que seja a vegetação. Consideram-se, ainda, de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural, quando assim declaradas por ato do Poder Público.

Freqüentemente, nas áreas de matas ciliares (formações florestais associadas aos cursos d'água) estabelece-se conflitos entre os interesses de utilização destas áreas por parte dos proprietários das terras e a necessidade de preservação ambiental estabelecida pela legislação. As matas ciliares desempenham importantes funções e seus efeitos não são apenas locais, mas refletem na qualidade de vida de toda a população sob influência de uma bacia hidrográfica. De acordo DAVIDE et al. (2000), seus principais benefícios são:

- a) Qualidade da água: As matas ciliares possuem função de tamponamento entre os cursos d'água e áreas adjacentes cultivadas; melhoram a qualidade da água e retêm uma grande quantidade de sedimentos, nutrientes, principalmente fósforo (P) e nitrogênio (N), e produtos tóxicos. Estas matas conseguem reter cerca de 80% do P e 89% do N provenientes do escoamento superficial das áreas adjacentes. Excesso de P e N na água provoca o crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas, podendo alterar o nível de oxigênio, com conseqüente mortalidade de peixes e outras formas de vidas aquáticas;
- b) Recarga de aquíferos subterrâneos: As florestas ciliares são também eficientes para recarga de aquíferos subterrâneos através de canais formados no solo pelas raízes das árvores;
- c) Estabilização das margens dos rios: As matas ciliares permitem a estabilização do solo às margens dos rios através da grande malha de raízes que dá resistência aos barrancos. O *litter* florestal, cobertura do solo formada basicamente por resíduos vegetais depositados (VALLEJO, 1982), atua como uma esponja, retendo e absorvendo o escoamento superficial, auxiliando a infiltração da água e a retenção de partículas do solo que são carregadas pela enxurrada. A taxa de infiltração de água no solo florestal pode ser de 10 a 15 vezes maior do que numa pastagem e 40 vezes mais que num solo descoberto;
- d) Habitat para a fauna silvestre: As matas proporcionam uma provisão de água, alimento e abrigo para um grande número de espécies de pássaros e pequenos animais, além de funcionarem como corredores de fauna; e
- e) Habitat aquático: A vida aquática dos rios e lagos é profundamente beneficiada pela presença de matas ciliares, as quais proporcionam sombreamento para as águas, importante fator para manutenção da temperatura destas. Variações bruscas de temperatura da água

podem afetar uma grande variedade de seres aquáticos e reduzir a reprodução e sobrevivência dos peixes. As raízes das árvores, além de darem estabilidade às margens, propiciam a criação de tocas, que servem de abrigo para peixes e outros organismos. Finalmente, os frutos, flores, folhas e ramos fornecem alimento e abrigo para pequenas criaturas que vivem no fundo dos rios e lagos, como insetos, anfíbios, crustáceos e pequenos peixes, sendo vitais na cadeia alimentar.

A supressão total ou parcial de florestas e demais formas de vegetação permanente somente será admitida quando necessária à execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto, sem prejuízo do licenciamento a ser procedido pelo órgão ambiental competente. Previamente à autorização para a supressão de vegetação em área de preservação permanente, o órgão ambiental competente indica as medidas mitigadoras e compensatórias que deverão ser adotadas pelo empreendedor. Nestas áreas o acesso de pessoas e animais é permitido para obtenção de água, desde que não exija a supressão e não comprometa a regeneração e a manutenção em longo prazo da vegetação nativa (MP 2.166-67, de 2001).

É considerada Área de Reserva Legal a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas (MP 2.166-67, de 2001). A vegetação da reserva legal não pode ser suprimida, podendo apenas ser utilizada sob regime de manejo florestal sustentável, de acordo com princípios e critérios técnicos e científicos estabelecidos no regulamento, ressalvadas as hipóteses previstas no § 3º do Artigo 16, da Lei 4.771/65, sem prejuízo das demais legislações específicas. Este parágrafo diz que para cumprimento da manutenção ou compensação da área de reserva legal em pequena propriedade ou posse rural familiar, podem ser computados os plantios de árvores frutíferas ornamentais ou industriais, compostos por espécies exóticas, cultivadas em sistema intercalar ou em consórcio com espécies nativas (MP 2.166-67 de 2001).

As florestas e outras formas de vegetação nativa, ressalvadas as situadas em área de preservação permanente, assim como aquelas não sujeitas ao regime de utilização limitada ou objeto de legislação específica, são suscetíveis de supressão, desde que sejam mantidas, a título de reserva legal, no mínimo: a) oitenta por cento da propriedade rural localizada na Amazônia Legal; b) trinta e cinco por cento, na propriedade rural situada em área de cerrado

localizada na Amazônia Legal, sendo no mínimo vinte por cento na propriedade e quinze por cento na forma de compensação em outra área, desde que esteja localizada na mesma micro-bacia, e seja averbada à margem da inscrição de matrícula do imóvel, no registro de imóveis competente, sendo vedada a alteração de sua destinação, nos casos de transmissão, a qualquer título, de desmembramento ou de retificação da área, com as exceções previstas neste Código. Quando se tratar de averbação da reserva legal da pequena propriedade ou posse rural familiar é gratuita, devendo o Poder Público prestar apoio técnico e jurídico, quando necessário; c) vinte por cento, na propriedade rural situada em área de floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do País; e d) vinte por cento, na propriedade rural em área de campos gerais localizada em qualquer região do País (MP 2.166-67 de 2001).

A localização da reserva legal deve ser aprovada pelo órgão ambiental estadual competente ou, mediante convênio, pelo órgão ambiental municipal ou outra instituição devidamente habilitada, devendo ser considerados, no processo de aprovação, a função social da propriedade, e os seguintes critérios e instrumentos, quando houver: a) o plano de bacia hidrográfica; b) o plano diretor municipal; c) o zoneamento ecológico-econômico; d) outras categorias de zoneamento ambiental; e e) a proximidade com outra Reserva Legal, Área de Preservação Permanente, unidade de conservação ou outra área legalmente protegida (MP 2.166-67 de 2001).

Recentemente, os percentuais de Reserva Legal e APPs, definidos em Código Florestal têm sido alvo de discussões polêmicas. Projetos de leis tramitam na Câmara dos Deputados propondo desde a mudança no cômputo das áreas de reserva legal como, até mesmo, a redução do percentual a ser respeitado. Exemplos deles são o: PL 3225/08 que altera o cômputo das áreas de preservação permanente (APPs) no cálculo da reserva legal em propriedades rurais; PL 0238.0/2008 que propõe a redução de 30 para 5 metros a área de matas ciliares situadas às margens dos cursos d'água no Estado de Santa Catarina; PL 4519/08 que visa a redução de 80% para 35% nas áreas de reserva legal dentro da Amazônia; e a Redução de 80 para 50% da área de reserva legal às margens das rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-230 (Transamazônica). O argumento central destas propostas é a necessidade de disponibilizar terras para a agricultura. As discussões são baseadas essencialmente em critérios econômicos e poucos argumentos biológicos têm sido levantados. A decisão sobre as alterações do Código Florestal depende de parâmetros biológicos, econômicos, sociais e políticos. Porém, as implicações biológicas de qualquer alteração nos instrumentos legais são fundamentais para embasá-la.

5.3.2 Extração Mineral

A mineração é uma atividade degradadora e uma das maiores modificadoras da superfície terrestre, afetando não somente a paisagem local, mas o ecossistema em geral. Os recursos minerais são indispensáveis à sobrevivência do ser humano já que estes fazem parte do cotidiano em praticamente todas as atividades (FILHO et al., 2007). A atividade de mineração é um dos setores básicos da economia brasileira, responsável no ano de 2000 por 8,5% do Produto Interno Bruto (PIB), que perfaz 50,5 bilhões de dólares, gerando 500.000 empregos diretos e um saldo na balança comercial de US\$ 7,7 bilhões de dólares, além de ter tido um crescimento médio anual de 8,2% no período 1995/2000 (WAGNER, 2002).

A extração de minerais utilizados na construção civil está distribuída regionalmente no país, sendo 4% no norte, 8% no centro-oeste, 13% no nordeste, 21% no sul e 54% no sudeste. Em 1992, estimou-se que existiam 16.528 pequenas empresas, com produção mineral da ordem de 1,98 bilhões de dólares, em geral atuando em regiões metropolitanas para uso na construção civil (BARRETO, 2001). Os dados sobre pequenas minerações são imprecisos, uma vez que muitas empresas trabalham na informalidade, prejudicando a análise estatística. A mineração, de um modo geral, está submetida a um conjunto de regulamentações federais, estaduais e municipais, com atribuições em relação à mineração e ao meio ambiente (REIS et al., 2005).

Trata-se de uma atividade econômica com suas definições na Constituição Federal e legislação estipulada pelo Código de Mineração e extensa legislação correlata. Neles disciplinam-se acessos, conflitos de propriedade, direitos e obrigações, bem como a necessidade de recuperação de áreas degradadas pela atividade (SINTONI, 2001). A Constituição Federal não deixa dúvidas quanto às particularidades da mineração ao estabelecer em seus artigos: 20, inciso IX que “os recursos minerais, inclusive os do subsolo são bens da União” e 176 que “as jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto lavra”. Desta forma, está assegurado que o subsolo é propriedade incontestada da União. O direito da exploração das substâncias minerais está prescrito no Código de Mineração, fazendo-o cumprir o Departamento Nacional da Produção Mineral –

DNPM. Este código foi criado pelo Decreto-Lei 227/67 e modificado pela Lei Federal nº 9.314/96. Em seu artigo 1º, legisla sobre a competência da União, que é de administrar os recursos minerais a indústria de produção mineral e a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais. O DNPM é o regulamentador das atividades mineral, atua como órgão co-participante com os órgãos ambientais estaduais no licenciamento ambiental das extrações minerais. E, apesar desta co-participação, um grande volume de atividades clandestinas de extração de areia se desenvolve a revelia da legislação mineral e ambiental (SOUZA et al., 2004).

Toda atividade de mineração é sujeita ao licenciamento ambiental, inclusive as dos minerais de uso direto na construção civil, como a areia. A Resolução CONAMA 010/90 de 06 de dezembro de 1990 estabelece critérios específicos para o Licenciamento Ambiental de extração mineral da Classe II (Decreto-Lei nº 227, 28 de fevereiro de 1967), visando o melhor controle dessa atividade conforme preconiza as Leis nº 6.567/76, 6.938/81, 7.804/89 e 7.805/89. A Resolução CONAMA 237/97, regulamenta o licenciamento ambiental que foi previsto pela Política Nacional do Meio Ambiente.

A extração de minerais tem gerado muita polêmica tanto na comunidade científica, quanto na sociedade em geral e nos meios de comunicação, não somente pela degradação causada, mas também pelas lagoas resultantes do processo final da exploração, que se apresentam em grande número (FILHO et al., 2007). A mineração, diferentemente de outras atividades industriais, possui rigidez locacional. Só é possível minerar onde existe o minério. No caso específico da mineração de areia, esta ocorre em locais onde houve a deposição de material sedimentar erodido ao longo de eras geológicas. Normalmente esses locais estão próximos a fundo de vales e aos rios, coincidindo muitas vezes com as matas ciliares, consideradas áreas de preservação permanente – APPs (ANNIBELLI, 2007). Esta assertiva, apesar de óbvia, sempre gera polêmicas entre mineradores e ambientalistas, pois, assim como a mineração é locacional, a singularidade da flora e da fauna, requisitos para a implantação de áreas de conservação, também o é.

As APPs garantem a estabilização das margens de cursos d'água, atuando no controle da erosão do solo e na manutenção da vazão e qualidade da água, atenuando o carreamento de sedimentos, nutrientes e produtos químicos do solo para o ambiente aquático, que podem afetar a qualidade da água e/ou diminuir a vida útil dos reservatórios (SOUZA et al., 2004). Em março de 2006, foi aprovada a Resolução nº 369 do CONAMA, que dispõe sobre a

possibilidade de intervenção ou supressão de vegetação em APP. Levou-se em conta a singularidade e o valor estratégico das áreas de preservação permanente, caracterizadas, como regra geral, pela intocabilidade e vedação de uso econômico direto. Considerou-se, ainda, que as APPs, bem como outros espaços territoriais especialmente protegidos, são instrumentos de relevante interesse ambiental, pois, integram o desenvolvimento sustentável, objetivo das presentes e futuras gerações, além de sua função socioambiental. No entanto, esta Resolução normatizou acerca de casos excepcionais, considerou que, em se tratando de obras, planos, atividades, projetos de utilidade pública ou de interesse social e para a realização de ações consideradas eventuais ou de baixo impacto ambiental, pode haver intervenção ou supressão de APP, mediante autorização do órgão ambiental (ANNIBELLI, 2007).

Os estudos prévios requeridos em licenciamento têm como objetivo minimizar os impactos que esta atividade pode causar ao meio, incrementar as ações relacionadas aos impactos positivos e propor medidas de controle ambiental. Estas medidas podem ser apresentadas em três níveis: 1) Minimização: que correspondem a ações que visam reduzir ou eliminar impactos; 2) Reabilitação: que correspondem a ações que visam reintegrar os ambientes à condição original; e 3) Compensação: que são ações no sentido de compensar impactos que não podem ser minimizados. Dentre as principais medidas de controle para os impactos do meio biótico (p. ex.: alteração da flora, degradação de APP e deslocamento/alteração comportamental da fauna), REIS et al. (2005) propõem fazer levantamento da flora local para realizar revegetação da área e manter corredores verdes para a migração da fauna local. Para os impactos ao meio físico (p. ex.: mudança da paisagem natural, modificação na estrutura e fertilidade do solo, processos erosivos, alteração do nível do lençol freático), os autores propõem estudos prévios sobre a vegetação e relevo antes de se modificar a topografia, estudos hidrológicos para verificar as situações dos níveis de lençol freático, realizar manejo correto do solo, implementar sistemas de drenagem para conter processos erosivos e promover a recomposição vegetal nas áreas susceptíveis à erosão.

Em geral, a extração de areia causa impactos positivos sob o aspecto sócio-econômicos e impactos negativos sob o aspecto ambiental. Como impactos positivos podem-se elencar a geração de empregos diretos, bem como de empregos indiretos decorrentes dos postos de trabalho que dependem da areia. Ao mesmo tempo, gera impostos, que revertem em serviços à população, possibilitando que se dê continuidade a obras e projetos que visem melhorar as condições de vida, proporcionando bem estar à população em geral. Em relação

aos impactos ambientais negativos podem-se elencar: a destruição da mata ciliar, o afugento de animais, a poluição das águas e dos solos devido ao uso inadequado de combustíveis fósseis, a prática de queimadas que visam acabar com a cobertura vegetal, a alteração dos cursos dos rios, bem como de sua profundidade, alterando a velocidade de escoamento dessas águas, entre outros (ANNIBELLI, 2007).

LELLES et al. (2005) identificaram e caracterizaram qualitativamente impactos ambientais da extração de areia em cursos d' água. Foram identificados 49 impactos, sendo 36 negativos (73,47%) e 13 positivos (26,53%). REIS et al. (2005) realizaram levantamento de impactos ambientais nos empreendimentos de mineração de areia e argila, e entornos, no Rio Jaguari Mirim (SP), distinguindo vários impactos negativos e positivos. Neste diagnóstico foi apresentada uma tabela comparativa dos impactos ambientais, medidas de controle e ações de monitoramento dos empreendimentos por ele estudado. SOUZA et al. (2004) ao estudarem a degradação, por extração de areia, em área de preservação permanente no Rio Turvo (GO) constatou o não cumprimento da legislação e das exigências do órgão ambiental descritas em um Plano de Controle Ambiental (PCA). Para o autor, uma maior rigidez na fiscalização das atividades em sua fase operacional é necessária e suficiente para atenuar os danos constatados na região. RUFINO et al. (2008), em seu estudo identificaram e avaliaram qualitativamente a degradação ambiental provocada pela mineração de areia na região do médio curso do Rio Paraíba (PB), também compartilham dessa visão. Para ele, a falta de fiscalização e controle dos órgãos ambientais na extração mineral gera grande parcela dos passivos ambientais, sociais, trabalhistas e tributários do setor. Todavia, a aplicação de normas cada vez mais severas aliada ao desenvolvimento científico e tecnológico tem contribuído para a redução dos impactos causados ao meio pela mineração. E que, por outro lado, enquanto não houver uma integração de ações da administração pública, da iniciativa privada e da comunidade, os princípios ambientais contidos na Legislação Federal, Estadual e Municipal não serão efetivados.

5.3.3. Ocupação urbana – Assentamentos de Reforma Agrária

A ocupação urbana causa inúmeras conseqüências sobre o equilíbrio do meio ambiente. Os principais problemas decorrentes são: desestruturação da topografia e da hidrologia local, produção de sedimentos ocasionada pelos vários tipos de erosão

(superficiais, voçorocamentos, desmoronamentos e deslizamentos), contaminação dos mananciais por resíduos e deposição de entulhos

Os assentamentos de reforma agrária, devido ao seu potencial de impacto e dano ambiental, são submetidos ao processo de licenciamento ambiental (Resolução 289/2001 do CONAMA). De acordo com a Resolução 387, o licenciamento ambiental deve ser realizado pelos órgãos competentes, sendo necessárias apenas duas licenças, a prévia e a de instalação-operação. No início de 2007, o Tribunal de Contas da União (TCU) determinou mudanças nos procedimentos de desapropriação de imóveis rurais para fins de reforma agrária. Segundo TCU, para minimizar despesas, o decreto presidencial determinando a desapropriação da terra só deve ser publicado após expedição de licença ambiental relativa ao projeto de assentamento. No entendimento deste órgão, no processo de licenciamento haverá casos em que a licença ambiental não poderá ser emitida, bem como casos em que a licença ambiental apresentará condicionantes que tornam o assentamento inviável. Em 29 de março de 2007, o INCRA impetrou um mandado de segurança (MS 26503) contra a recomendação do TCU, argumentando que a elaboração do projeto de assentamento, que depende da licença ambiental, só pode ser feita a emissão da posse da terra. Assim, não seria possível obter a licença antes da publicação do decreto.

6. Resultados e Discussões

6.1. Características fisiográficas

A sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras apresenta uma área de 23,87 km², com perímetro de 28,5 km. Sua declividade média é de 17,9%, o que segundo BERTONI e NETO (1990) corresponde à classe de declives fortes (12 – 50%). Áreas nesta faixa de declive, de acordo com os autores, podem ser trabalhadas mecanicamente, para uso agrícola, apenas em curva de nível e por máquinas simples de tração animal ou, em certos limites, por tratores de esteiras. A declividade influencia a relação entre a precipitação e o deflúvio da bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, reduzindo a possibilidade da infiltração de água no solo (CARDOSO et al., 2006).

O curso d'água principal apresenta comprimento de 13,6 km. Os valores do coeficiente de compacidade, do fator de forma e do índice de circularidade foram 1,64; 0,21 e 0,37, respectivamente. De acordo com os resultados, pode-se afirmar que a sub-bacia apresenta

forma alongada, mostrando-se pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação (Figura 3).

Em estudo realizado em Teixeira de Freitas, BA, constatou-se que em uma bacia com área igual a $0,589 \text{ km}^2$, 67,3% ocupada por floresta, e outra com área de $0,257 \text{ km}^2$, com ocupação de 100% de pastagem, foram encontrados índices de circularidade de 2,96 e 2,01, respectivamente. Observou-se que picos de vazão com aumento da precipitação proporcionaram a saída rápida da água dessas bacias logo após a precipitação (AZEVEDO, 1995). Dados semelhantes foram gerados a partir de estudo da bacia hidrográfica do Rio Debossan em Nova Friburgo, RJ, cuja área de drenagem encontrada foi de $9,9156 \text{ km}^2$ e o perímetro, de 17,684 km. A bacia hidrográfica do Rio Debossan tem formato alongado, coeficiente de compacidade de 1,5842, fator de forma de 0,3285 e índice de circularidade de 0,3985. A forma mais alongada da bacia hidrográfica indica que a precipitação pluviométrica sobre ela se concentra em diferentes pontos, concorrendo para amenizar a influência da intensidade de chuvas, as quais poderiam causar maiores variações da vazão do curso d'água (CARDOSO et al., 2006).

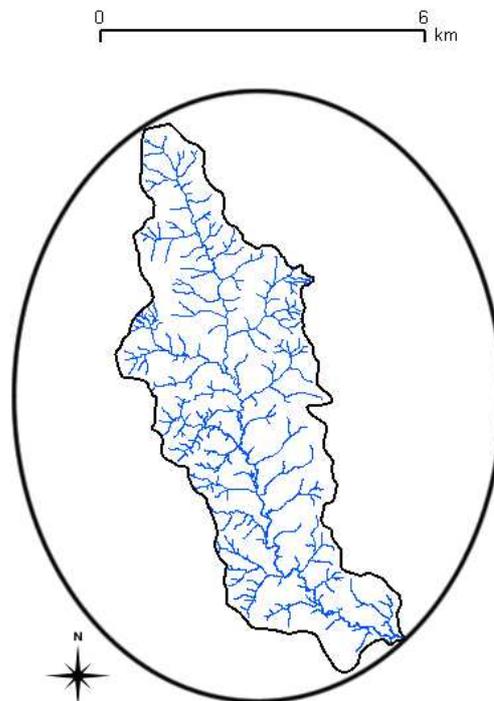


FIGURA 3. Forma alongada e a densidade dos cursos d'água da sub-bacia do Riacho das Capivaras (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

A densidade de drenagem encontrada na sub-bacia do Riacho das Capivaras foi de 4,25 km/km² e o valor da densidade dos cursos d'água é 10,26 (Figura 3). De acordo com VILLELA e MATTOS (1975), este índice pode variar de 0,5 km/km², em bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km², ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo possui elevada capacidade de drenagem. Assim como o índice de densidade de drenagem encontrado na bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo, em MG, que foi de 4,6 km/km², mostrando que aquela bacia apresenta elevada capacidade de drenagem (SANTOS, 2001). Já CARDOSO et al., (2006), identificaram que a bacia hidrográfica do Rio Debossan possui densidade de drenagem de 2,35 km/km², possuindo média capacidade de drenagem.

6.2. Aspectos ambientais

6.2.1. Uso e Ocupação do solo

A sub-bacia do Riacho das Capivaras abrange 96 (noventa e seis) propriedades rurais, uma indústria de beneficiamento de leite (sem funcionamento) e dois povoados, Jurema e Fonte Nova (SEPLAN-SRH/SE, 2006).

Predominam nesta área, as propriedades rurais caracterizadas como minifúndios, com até 10 ha. São 46 unidades incluídas nesta categoria, correspondendo a 47,9% do número total de propriedades (96). Contrapondo a esta realidade, 12 imóveis têm área superior a 50 ha e correspondem a apenas 12,5% do total de imóveis. (Figura 4).

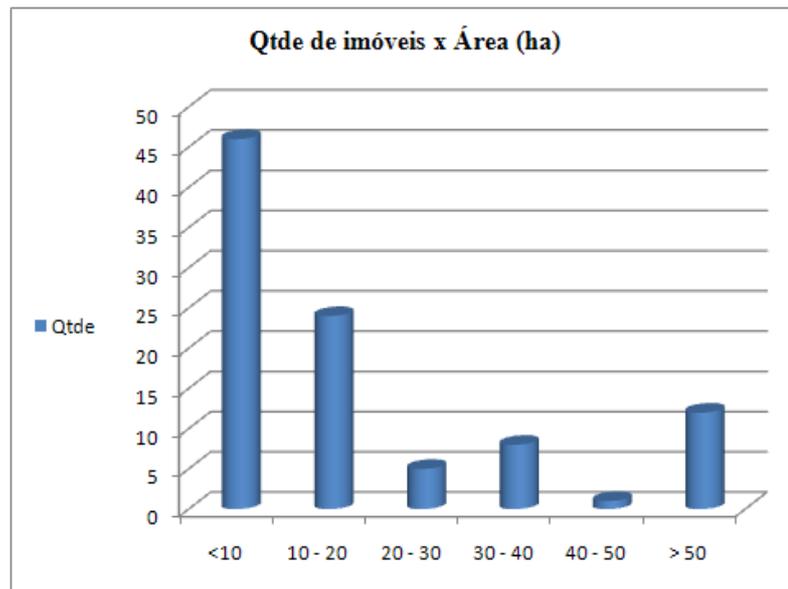


FIGURA 4. Imóveis da sub-bacia do Riacho das Capivaras agrupados por área (SEPLAN/SRH-SE,2006).

Embora o número de propriedades com área superior a 50 ha represente apenas 12,5% dos imóveis, a área ocupada por estas alcança 1.333,88 ha, equivalendo a 55,8% da área da sub-bacia, podendo-se dizer que existe uma expressiva concentração de terra entre poucos proprietários. A Figura 5 ilustra quanto cada imóvel representa da área da sub-bacia.

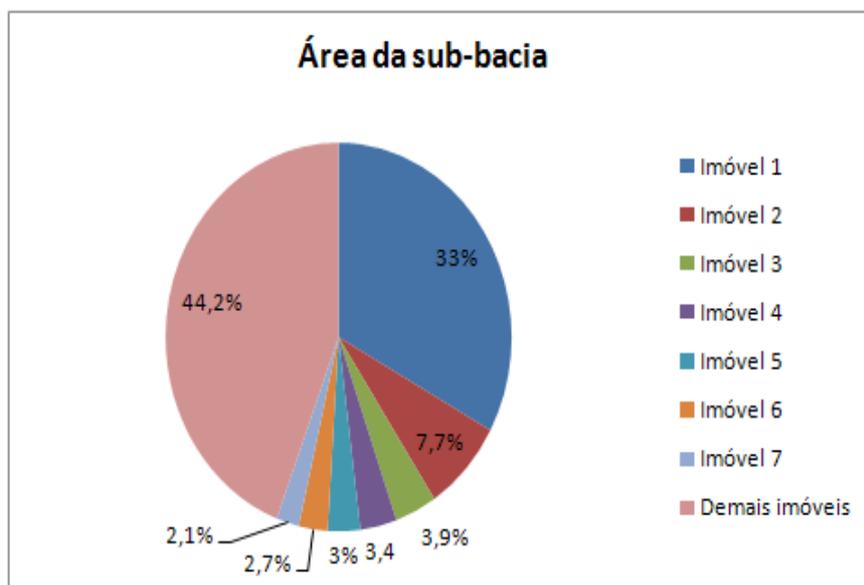


FIGURA 5. Percentual de ocupação de cada imóvel na área da sub-bacia do Riacho das Capivaras (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

A atividade agrícola predominante é a pastagem para criação extensiva de pequenos rebanhos. São 1.350,1ha (56,50% da área em estudo) distribuídos em pastagens implantadas

há muitos anos, pastos sujos caracterizados por pastos com vegetação arbustiva ou árvores esparsas, ou áreas degradadas representadas por pastos degradados com exposição de solo.

O pisoteio e o pastejo seletivo de plantas mais palatáveis, submetem trechos da pastagem à superlotação e outros à sub-lotação. Pelo pisoteio compacta-se a superfície da pastagem, especialmente em épocas de chuva (PRIMAVESI, 1986). FOLONI et al. (2003) verificaram que a compactação influenciou o desenvolvimento aéreo e modificou a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil de duas cultivares de milho com características genéticas distintas, em solo submetido a quatro níveis de compactação. ALBERNAZ e LIMA (2007) analisando o grau de degradação da cobertura vegetal de quarenta áreas de pastagens, situadas em duas sub-bacias hidrográficas da região de Lavras, MG, verificaram que a cobertura vegetal total foi menor para as pastagens mistas, quando comparadas aos pastos plantados, expondo estas áreas a um maior risco de degradação, detectada pela substituição natural e seletiva de espécies cultivadas por nativas. São áreas de solos mais expostos que possivelmente estejam em estágio avançado de degradação, nas quais se empregam menos práticas conservacionistas.

As pastagens estão presentes em toda a extensão da sub-bacia e invadem até mesmo as áreas situadas à margem do Riacho das Capivaras, onde deveria estar protegida pela mata ciliar, que somente é identificada em pequenas franjas, sem grande expressão em termos de área (Figura 6).



FIGURA 6. Paisagem com predominância de relevo ondulado, ocupada com pastagem e pequenos testemunhos da mata nativa (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

As pastagens, embora em intensidade um pouco menor que as florestas, fornecem grande proteção ao solo contra os efeitos da erosão. Seu trato pode afetar grandemente seu valor como revestimento do solo contra a erosão (BERTONI e NETO, 1990). O manejo inadequado é o responsável pela intensificação da ação dos fatores erosivos naturais relacionados com solo, clima e relevo, promovendo o surgimento de inúmeras feições erosivas, principalmente as lineares, representadas pelos sulcos, ravinas e voçorocas (FUJIHARA, 2002). AZEVEDO (2004) estudou a degradação do solo sob pastagens, diagnosticando-a qualitativamente e quantitativamente, para o entendimento dos índices de degradação. Este autor obteve índices de degradação física, química e geral, a partir da quantificação de atributos físicos e químicos do solo e comparando-os com dados da vegetação natural de mesma toposequência.

Ocorre que, o pastejo permanente e as queimadas, praticados na região, são métodos que destroem, por melhor que seja, qualquer pastagem, (PRIMAVESI, 1986). Em volta de aguadas, cochos e lugares preferidos pelo gado o solo fica desnudo (Figura 7).



FIGURA 7. Pastagem degradada, apresentando solo exposto (SEPLAN/SRH, 2006).

A queimada também é prática comum na sub-bacia em estudo, por se tratar de método mais rápido e barato para limpeza de pastos e áreas para plantio (Figura 8). No entanto esta prática tem conseqüências negativas (Figura 9), no local em que houve a queimada instala-se uma vegetação mais resistente ao fogo, ocorre a decadência física pronunciada do solo, a

absorção de cálcio e fósforo pelas forrageiras é diminuída, bem como, desaparecem os animais terrícolas benéficos e aumentam os parasitas (PRIMAVESI, 1986).



FIGURA 8. Uso do fogo para limpeza de áreas para plantio (SEPLAN/SRH-SE, 2006).



FIGURA 9. Área após a queimada (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

Segundo a Lei Federal nº 4771/65, em seu art. 17º, parágrafo único, é proibido o uso de fogo nas florestas e demais formas de vegetação. Se peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, a permissão será estabelecida em ato do Poder Público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução.

Outra atividade exercida na sub-bacia em estudo é a agricultura praticada em pequenas áreas, com o cultivo de milho, feijão, mandioca e frutíferas. Esta prática agrícola é caracterizada como de subsistência e ocupa apenas 217,70ha (9,11%) e assim como as pastagens, está dissociada de práticas conservacionistas. Os campos de produção de côco (*Cocus nucifera*), não possuem produtividade expressiva, sendo a cultura utilizada para aproveitar as condições favoráveis da composição granulométrica dos solos que apresenta textura com grande percentual de areia. Tais áreas não recebem, com a frequência tecnicamente recomendada, adubação de manutenção, que venha repor a exportação de nutrientes natural de um processo produtivo. Esta ocorre em maior frequência nas proximidades da foz do Riacho das Capivaras, possivelmente por apresentar áreas menos declivosas, maior facilidade para tratos culturais e solos com fertilidade natural mais elevada (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

As espécies cítricas (*Citrus sp*), também estão presentes em áreas até menores que os coqueirais, constituindo plantios na maioria das vezes não comerciais, compondo áreas em pequenos sítios ou chácaras, servindo como uma fonte de renda adicional, para o sustento das famílias nos minifúndios. Algumas destas áreas são rudimentarmente irrigadas durante o período seco, através da captação de água no riacho (Figura 10).



FIGURA 10. Captação de água para consumo humano e irrigação de pequeno porte (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

As culturas anuais como milho (*Zea mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) ou até mesmo mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), ainda está atrelada à subsistência, típica das

propriedades descapitalizadas, que sofrem com as dificuldades de acesso ao crédito e assistência técnica. A queimada, como citado anteriormente, é prática frequente como medida de preparo da terra para o posterior plantio das lavouras, inclusive em áreas de encosta.

As capineiras também estão presentes na área, representadas pelas espécies de capim coloniã (*Panicum maximum*) e capim elefante (*Penisetum purpureum*), dentre outras. Estas forrageiras são utilizadas como reserva estratégica de alimento fornecida aos rebanhos diretamente no cocho ou na forma de ensilagem no período seco, ou para complementar a alimentação de pequenos criatórios durante o ano.

Também compõe a paisagem da sub-bacia, remanescentes de mata atlântica em diferentes estágios de antropização e/ou sucessão ecológica. São 80,9 ha de mata atlântica (3,39%) e 624,5 ha (26,14%) de mata atlântica em diferentes estágios de regeneração denominada capoeira grossa e capoeira fina, distribuída em área não necessariamente de preservação permanente. Entende-se por capoeira grossa a mata com forte antropização, mas que ainda conserva grande parte das espécies que melhor representam o ecossistema. E por capoeira fina, a mata de muito forte antropização, apresentando uma vegetação bastante rala, composta predominantemente por arbustos, árvores de pequeno porte ou espécies secundárias (SEPLAN/SRH, 2006). (Figuras 11.a e 11.b).

Observa-se na Figura 12 (mapa de uso e ocupação da terra) que ocorre uma maior concentração de capoeiras, com destaque para a capoeira grossa presente no terço médio da sub-bacia, possivelmente, por se tratar de uma área mais declivosa, onde a prática agricultura é mais difícil e o difícil acesso leva a uma mais lenta pressão sobre os recursos vegetais ali presentes.



FIGURA 11. Mata de capoeira: Capoeira grossa (a) e Capoeira fina (b) (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

A capoeira fina, normalmente está associada com áreas de pastagem (Figura 11.b), pois se mostraram muito presentes nos declives menos acentuados. Algumas áreas, devido ao abandono, apresentam sintomas de uma sucessão natural que pode levar a uma precária, mas necessária recuperação daquele ecossistema (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

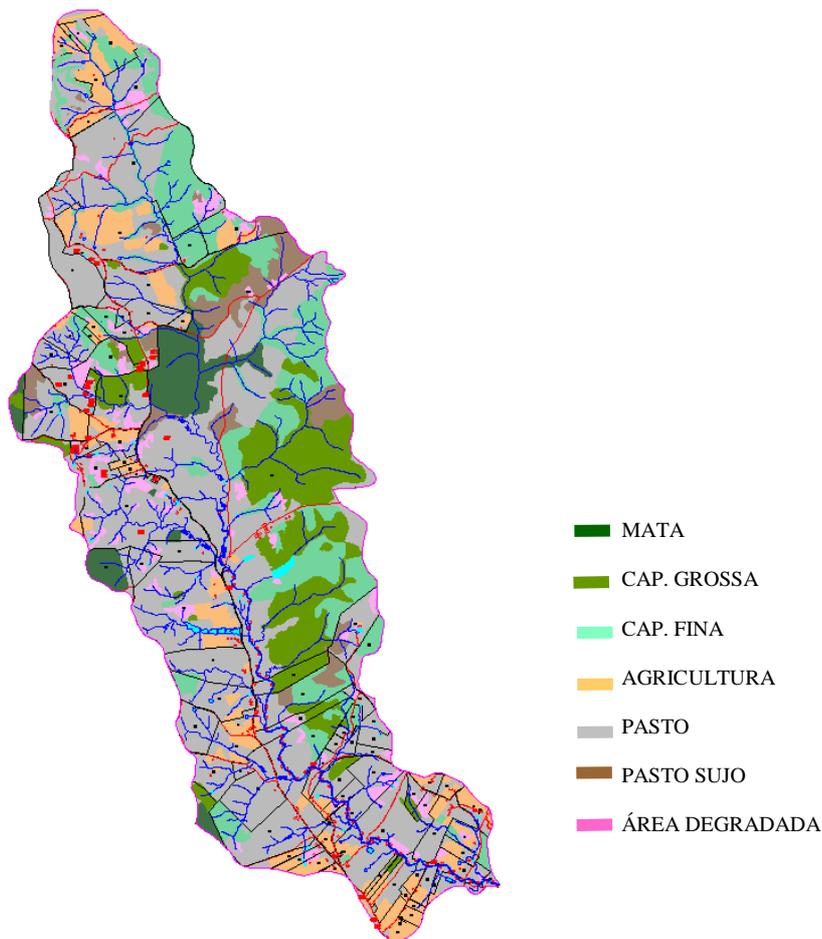


FIGURA 12. Mapa de Uso e Ocupação do solo da sub-bacia do Riacho das Capivaras (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

Os solos expostos, ora considerados como área degradada, ocupam 74,4 ha (3,11%) e as construções e benfeitorias, 41,8 ha (1,75%). Para OLDEMAN e LYNDEN (1998) existem cinco principais causas para a degradação, isto é, o desmatamento, o manejo inadequado da agricultura, o superpastejo, a superexploração da vegetação para combustível e a atividade industrial. Para KOBİYANA et al. (2001), muitos fatores relacionados à agricultura podem causar degradação do solo, da água, do ar, dos organismos e da topografia. Entre estes, pode-

se enfatizar a inaptidão do ambiente, a compactação, o preparo de solo inadequado, o monocultivo, a irrigação inadequada, o superpastejo e a cobertura de solo insuficiente. A não observação de alguns destes pode transformar áreas agrícolas em ambientes degradados. Na Figura 13, tem-se a distribuição do uso e ocupação das terras da sub-bacia do Riacho das Capivaras, em percentual.

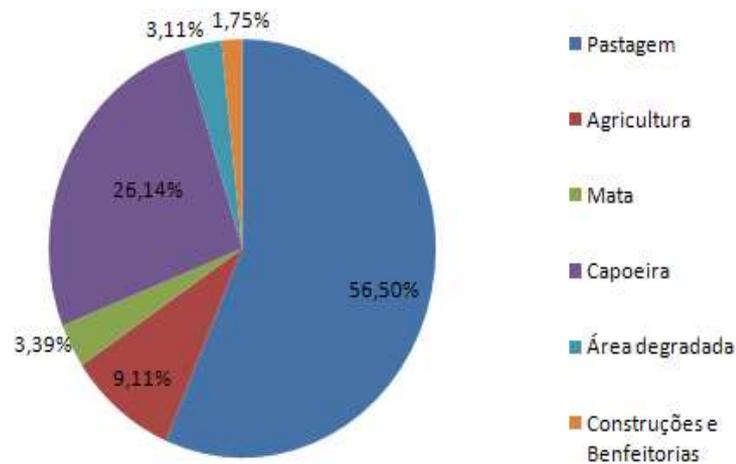


FIGURA 13. Uso e Ocupação do solo da sub-bacia do Riacho das Capivaras em percentuais (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

6.2.2. Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente (APP's)

Na sub-bacia do Riacho das Capivaras a presença da Mata Atlântica ocorre em apenas 3,39% de sua extensão, quando consideramos a mata nos diversos estágios de regeneração (capoeira fina e capoeira grossa) este percentual eleva-se para 29,53%, equivalente a 705,4 ha distribuídos aleatoriamente. A vegetação nativa da área em estudo foi substituída ao longo do tempo por pastagens, agricultura e para extração mineral (areia). Esta intervenção é mais significativa nas áreas que deveriam estar ocupadas pela mata ciliar, considerada de preservação permanente de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei nº. 4.771/65). (Figura 14)



FIGURA 14. Supressão da mata ciliar para implantação de pastagem.

As matas ciliares são os ecossistemas mais intensamente utilizados e degradados pelo homem. Por possuírem solos férteis e úmidos, elas estão sendo substituídas pela agricultura e pecuária. Nestas áreas também são comuns a exploração de areia e cascalho, com conseqüente solapamento dos barrancos, queda de árvores e assoreamento dos cursos d'água (DAVIDE et al., 2000). Na sub-bacia do Riacho das Capivaras, as conseqüências da supressão da vegetação ciliar são visíveis, como mostra a Figura 15.



FIGURA 15. Desestabilização das margens e conseqüente assoreamento do curso d'água.

As APP's ao longo dos cursos d'água e nascentes, correspondem a 602,84 ha, o que representa, aproximadamente, 25,23% da área da sub-bacia. As APP's com declividade igual ou superior a cem por cento ou 45° correspondem a 42,76 ha, o que representa, aproximadamente, 1,78% da área da sub-bacia. As APP's nos topos de morro correspondem a 42,88 ha, o que representa, aproximadamente, 1,79% da área da sub-bacia. As APP's em volta das lagoas e represas correspondem a 4,50 ha, o que representa, aproximadamente, 0,19% da área da sub-bacia. A área de preservação permanente total foi obtida através do agrupamento das APP's acima citadas, resultando em uma área total de 692,9 ha, equivalente a 29% da área da sub-bacia. Em algumas propriedades o total de áreas de mata é superior ao total da APP que a legislação prevê para a região, mas estas áreas deveriam estar distribuídas em locais especificados pela legislação (ao longo das nascentes e cursos d'água, nos topos de morros, entre outros). Para avaliar este fato foram sobrepostos os resultados das APP's obtidos anteriormente com os obtidos na carta de vegetação e uso do solo. Na Figura 16.a, a cor verde representa a área permanente prevista em Código Florestal, na Figura 16.b, o verde representa a área de mata existente que coincide com a área permanente.

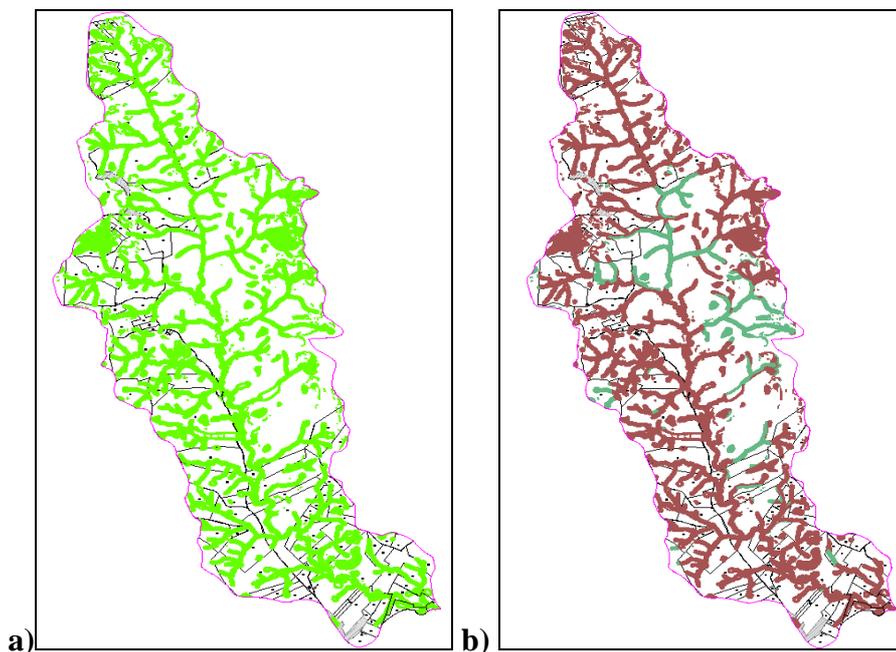


FIGURA 16. a) Área de preservação permanente prevista em Código Florestal; b) Área de preservação permanente existente (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

As APP's que coincidiram com as áreas de mata e capoeira grossa, que na data da obtenção da imagem, correspondem a 93,39 ha, o que significa dizer que apenas 13,27% da área total de APP's na sub-bacia são preservados. A maior parte da área (599,51 ha), a cor

marron da Figura 16.b, aproximadamente 86,52%, deveria ser recuperada, como previsto no Código Florestal.

Embora a supressão da vegetação ciliar, ocorrida na sub-bacia do Riacho das Capivaras, tenha sido motivada pela necessidade imediata de subsistência do produtor, apenas 16,6% dos produtores declararam que sua propriedade rural constitui sua principal fonte de renda (SEPLAN/SRH-SE, 2006). Estas propriedades, ditas como principal fonte de renda, ocupam 230,24 ha, ou seja, 9,63% da área da sub-bacia. Esta avaliação permite-nos inferir que a área da bacia encontra-se em estágio avançado de degradação em função do desmatamento e queimadas para implantação de agroecossistemas, que por não guardarem suas principais propriedades (produtividade, estabilidade, sustentabilidade, equidade e autonomia), as receitas geradas são insuficientes para a manutenção familiar dos agentes produtivos, obrigando a maioria buscarem outras fontes de receita (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

6.2.3. Extração Mineral

A extração de areia na sub-bacia do riacho das Capivaras para aplicação na indústria da construção civil é o maior fator de degradação ambiental pelo extrativismo mineral ocorrido na área. Os efeitos danosos desta extração acarretam conseqüências devastadoras para o meio ambiente aquático e ribeirinho, que na maioria das vezes são irreversíveis. A retirada de areia no leito do riacho das Capivaras é prática comum e ocorre há algum tempo (Figura 13). Realizado de forma clandestina, para abastecer o mercado da construção civil local, o processo é geralmente manual, consistindo na retirada do material a partir de pás, por pessoas da própria comunidade. A atividade é conduzida totalmente sem atendimento a critérios técnicos, pois é uma área que não possui permissão de lavra, o que indica que nenhum dos estudos previamente requeridos para o licenciamento, foi realizado, constituindo-se em uma exploração predatória, que gera alterações no meio ambiente.



FIGURA 17. Retirada de areia no leito do Riacho das Capivaras (SEPLAN / SRH – SE, 2006).

Na área em estudo, a mineração não representa grande parcela em extensão, se comparada aos demais agentes degradadores. Sua ocorrência é pontual, limitando-se a pequenas áreas em que o exercício desta atividade foi confirmado em apenas três propriedades (Figura 17). Entretanto, seus efeitos são drásticos ao meio ambiente, por causar movimentação profunda das camadas do solo, retirada da vegetação e alteração do regime de escoamento da água.

6.2.4. Ocupação urbana – Assentamento de Reforma Agrária

Na área estudada, existem dois núcleos urbanos, o povoado Jurema e o povoado Fonte Nova. Juntos, eles ocupam uma área de 14,86 ha dos quais 2,26 ha são passíveis de reflorestamento segundo o Código Florestal, pois se trata de área de preservação permanente, distribuída da seguinte forma: 1,66 ha são de mata ciliar; 0,22 ha de área de encosta; e 0,38 ha entornam de lagoa/represa. Não há rede pública de esgotamento sanitário, apenas sumidouros para descarte de efluentes sólidos e líquidos e o lixo produzido é basicamente queimado pela população (SEPLAN / SRH – SE, 2006).

É importante citar a implantação de um assentamento rural. Na época da coleta dos dados que subsidiaram o Relatório Técnico da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de SE, havia um acampamento do Movimento dos Sem Terras (Figura 18) na Faz. Capivara (uma das propriedades consideradas neste trabalho), no qual as construções foram feitas com

madeira retirada dos remanescentes de mata atlântica da área (Figura 19). Esta fazenda foi declarada de interesse social para fins de desapropriação, conforme publicação de 13 de janeiro de 2005 do Diário Oficial da União e nela foram assentadas 90 famílias.



FIGURA 18. Assentamento do MST existente na sub-bacia do Riacho das Capivaras (Arquivo INCRA).



FIGURA 19. Construções feitas com madeira retirada da Mata Atlântica (Arquivo INCRA).

O Assentamento Caio Prado, implantado na Faz Capivara ainda não teve sua licença de instalação-operação (LIO) emitida por implicações ambientais, já que a área apresenta intenso desmatamento ao longo do curso do Riacho Capivara, com severos processos de

erosão, comprometendo significativamente os recursos hídricos do assentamento e região, como pode ser visto nas Figuras 20, 21 e 22.



FIGURA 20. Ausência da mata ciliar ao longo do Riacho das Capivaras (Arquivo INCRA).



FIGURA 21. Assoreamento ao longo do Riacho das Capivaras (Arquivo INCRA).



FIGURA 22. Assoreamento ao longo do Riacho das Capivaras no detalhe, remanescente de mata ciliar (Arquivo INCRA).

7. Conclusões

A sub-bacia do Riacho das Capivaras é uma bacia agrícola, na qual a vegetação natural está sendo substituída, gradativamente, por agroecossistemas pouco sustentáveis. Caracterizados pelo baixo nível tecnológico empregado e pela ausência de práticas conservacionistas de manejo dos recursos naturais. Os sistemas presentes na bacia não possuem indicadores técnicos compatíveis com os praticados na região e, conseqüentemente, não geram receita suficiente para a manutenção das famílias. Por esta razão a população local tem buscado alternativas para complementar sua renda. Dentre estas alternativas estão: expansão das áreas cultivadas para áreas consideradas de preservação permanente, a fim de compensar a baixa produtividade dos cultivos existentes; extração de madeira para produção de lenha; e a extração de areia do leito do riacho. Estas alternativas são praticadas em toda a extensão da bacia, independentemente da classificação do produtor rural e as conseqüências destas práticas são o assoreamento do riacho, a erosão do solo (química ou por perda de massa), além dos prejuízos causados a fauna e flora locais.

As áreas de preservação permanente desta sub-bacia (692ha) apresentam conflito entre o uso do solo e o Código Florestal em 89% de sua extensão. A categoria que apresentou maior conflito foi a APP de vegetação ciliar no entorno de cursos d' água e nascentes (602,84ha). Considerando a área total de APP (29%) e a Reserva Legal de 20% definida em lei, cerca de

49% da área total da sub-bacia deveria estar por vegetação nativa, ao invés dos 3,9% encontrados.

Mesmo que a sub-bacia do Riacho das Capivaras pelas suas características morfométricas aponte para uma bacia pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, este preocupante quadro de degradação ambiental pode torná-la vulnerável a eventos atípicos. Principalmente quando levamos em consideração a forte declividade da área - cerca de 34% de sua área apresenta forte declive - o que favorece o escoamento superficial, aumentando a necessidade de proteção das áreas de recarga do lençol freático.

Os resultados deste estudo mostram que existe a necessidade de elaboração de um plano de manejo para a sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras que adéqüe o uso do solo a sua vocação e que contemple, principalmente, a recomposição da vegetação das APPs, uma vez que os desmatamentos, queimadas, uso inadequado do solo e a extração de areia como componentes dos agroecossistemas, ali implantados, podem refletir na quantidade e na qualidade da água produzida por esta sub-bacia.

8. Referências Bibliográficas

ALBERNAZ, W. M.; LIMA, J. M. de. Caracterização da cobertura vegetal de pastagens em duas sub-bacias hidrográficas da região de Lavra, MG. **Revista Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 290-297, 2007.

ANNIBELLI, M. B. Mineração de Areia e seus Impactos Sócio-Econômico-Ambientais. In: XVI Congresso Nacional do CONPEDI, Belo Horizonte, Brasil. **Anais...** Belo Horizonte 2007, p. 4205-4217.

AZEVEDO, E. C. **Vazão e características físicas e químicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem e Eucalyptus grandis**. 1995. 92f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

AZEVEDO, E. C. de. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. 2004. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - UNICAMP, Campinas, 2004.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. 215p.

BERTONI, J.; NETO, F. L., **Conservação do solo**. 3ª. Ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 f.

BORGES, M. J.; PISSARA, T. C. T.; VALERI, S. V.; OKUMURA, E. M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis**, n.69, p.93-103, dez. 2005.

BRABEC, E.; SCHULTE, S.; RICHARDS, P. L. Impervious surfaces and water quality: A review of current literature an its implications for watershad planning. **Journal of Planning Literature**, 16;499, 2002.

BRAGAGNOLO, N. **Solo: uma experiência em manejo e conservação**. Editora do autor, Curitiba, 102p, 1997.

BRASIL. **Lei nº. 4.771/65, de 15 de setembro de 1965**. Institui o Código Florestal. Disponível em: www.planalto.gov.br/Legislacao/leis/lei4.771.pdf. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Decreto- Lei nº. 0227, de 28 de fevereiro de 1967**. Institui o Código de Mineração. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/Decreto-Lei/Del0227.htm. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Lei nº. 6.567 de 24 de setembro de 1978**. Dispõe sobre regime especial para exploração e aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências. (Regime de licenciamento). Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Lei nº. 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Lei nº. 7804/89 de 31 de agosto de 1981**. Altera a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação a Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980, a Lei nº 6.902, de 21 de abril de 1981, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.camara.gov.br>. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Constituição Federal**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Lei nº. 7803 de 18 de julho de 1989**. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Lei nº. 7805/89 de 18 de julho de 1989**. Altera o Decreto-Lei nº 227, de 28 de Fevereiro de 1967, Cria o Regime de Permissão de Lavra Garimpeira, Extingue o regime de Matrícula, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.camara.gov.br>. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Resolução CONAMA 010/90 de 06 de dezembro de 1990**. Disponível em: http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Con_10_90.htm. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Lei nº. 9314 de 14 de novembro de 1996**. Altera dispositivos do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/50363/lei-9314-96>.. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Resolução CONAMA 237/97 de 19 de dezembro de 1997**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Medida Provisória Nº. 2.166, de 24 de agosto de 2001**. Altera os arts. 1º, 4º, 14º, 16º, e 44º, e acresce dispositivos à Lei nº. 4.771/65, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei nº. 9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Rural – ITR, e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/Legislacao/MedidasProvisórias/MP2.166.pdf.. Acesso em: 20 jul. 2007.

BRASIL. **Resolução CONAMA 289/01 de 25 de outubro de 2001**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res28901.doc>. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Resolução CONAMA 303/02 de 20 de março de 2002**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Resolução CONAMA 369/06 de 28 de março de 2006**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res36906.xml>. Acesso em: 29 abr. 2008.

BRASIL. **Resolução CONAMA 387/06 de 27 de dezembro de 2006**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38706.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2008.

CARDOSO, A. C.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo – RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.

CORBI, J. J. **Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo da cana-de-açúcar em áreas adjacentes**. 2006. 92f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba – MG**. 2003. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2003..

DAVIDE, A. C.; FERREIRA, R. A.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. Restauração de matas ciliares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n. 207, p. 65-74, 2000.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J.A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfrica do córrego rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol.25, n.1, 2005.

FAUSTINO, J. **Planificación y Gestión de Manejo de Cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FERREIRA, D. S.; RIBEIRO, C. A. D.; CECILIO, R. A.; XAVIER, A. C. Estimativa do escoamento superficial na bacia do Córrego João Pedro através de técnicas de geoprocessamento. In: I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007, p. 163-169.

FILHO, E. M.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. dos S.; SOARES, P. V. O uso futuro das áreas de mineração de areia no sub-trecho compreendido entre Jacareí e Pindamonhangaba, SP e sua inserção na dinâmica local e regional. Anais I Seminário de Recursos hídricos da Bacia

Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo hidrológico. Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007, p.139-146.

FOLONI, J. S. S; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. de Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesq. agropec. Bras.**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento.** 2002. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2002.

GARCIA, G. J.; GAMERO, H. G., GARCIA, L. B. R., VETTORAZZI, C.A., KRÖNERT, R.; VOLK, M.; LAUCH, A.; MEYER, B. Impacto do uso da terra na erosão solo e no balanço e qualidade de água na bacia do Rio Corumbataí-SP. **Holos Environment**, v.6, n .2, p.118, 2006.

GOUDIE, A. **The Human Impact on the natural environment.** 4th ed. Oxford. UK: Blackwell. 1995. 454p.

GROSSI, C. H. **Sistema de informação geográfica – Basins 3.0 na modelagem hidrológica da Bacia experimental do Rio Pardo - SP.** 2003. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP), Botucatu, 2003.

HART, R. D. **Agroecosistemas: conceptos básicos.** Turrialba, CATIE, 1980. 211f. (CATIE. Serie materialis de ensenanza, 1).

HEIN, M. **Espacialização de duas microbacias hidrográficas do Rio Piracicaba para modelagem hidrológica.** 2000.0307p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

JENKIS, S. K.; PETERS, N.E.; RODHE, A. Hydrology. In: MOLDAN, B. CERNY, J. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research.** Chichester: John Wiley, 1994. Cap. 2, p. 31- 54.

KOBIYANA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.10-17, 2001.

LAGO, P.F. Enchentes – Erosão – Vegetação. In: II Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. **Anais...** Florianópolis, SC. 1989. p. 258-266.

LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, p.439-444, 2005.

MACHADO, E. M. de. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 154f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2002.

MARTEN, G. G. Productivity, Stability, Sustainability, Equability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment. **Agricultural System**. Great Britain, n.26, p. 291-316, 1988.

MENDONÇA, I. F. C. de. **Adequação do uso agrícola e estimativa da edegração ambiental das terras da microbacia hidrográfica do riacho Uma, Sapé, PB**. 2005. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2005.

MOLDAN, B.; CERNY, J., Ed. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. London: John Wilwy, 1994. 418p.

OLDEMAN, L. R.; LYNDEN, G. W. J. van. Revisiting the GLASOD methodology. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STWART, B.A. (Ed). **Methods of assessment of soil degradation**. New York: CRC Press, 1998. p.423-440.

PIRES, J. S. R. e SANTOS, J. E. Bacias Hidrográficas – Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.19, n.110, p. 40 – 45, 1995.

PRADO, T. B. G. **Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jundiá Mirim**. 2005. 72f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-tropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pastagens: em regiões tropicais e subtropicais**. 2ª. Ed. São Paulo: Nobel, 1986. 184p.

Quantum GIS user guide version 8.1 "TITAN". QGIS Development TEAM, 118 p., 2006. Disponível em: <http://www.qgis.org>

RANZINI, M. **Balço hídrico, ciclagem geoquímica de nutrientes e perdas de solo em duas micro-bacias reflorestadas com Eucalyptus saligna Smith, no vale do Paraíba, SP**. 1990. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 1990.

REIS, F. A. G. V.; FRANCO, A. C. M.; PERES, C. R.; BRONZEL, D.; RAFAELA, E.; PONTES, F. F. F. de; GUIZARD, J.; RAFALDINI, M.E.; GIORDANO, L. do C. Diagnóstico ambiental em minerações de areia e argila no Rio Jaguari Mirim, município de São João da Boa Vista (SP). **Revista Engenharia Ambiental** – Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n.1, p.115-137, 2005.

RUFINO, A. C. da S.; FARIAS, M. S. S. de; NETO, J. N. Avaliação qualitativa da degradação ambiental provocada pela mineração de areia – Região do médio curso do rio Paraíba. **Revista Engenharia Ambiental** – Espírito Santo do Pinhal, v.5, n.1, p.047-064, 2008.

SEPLAN / SRH - SE Secretaria de Estado do Planejamento / Superintendência de Recursos Hídricos. Estudo para recuperação de áreas degradadas da sub-bacia Riacho das Capivaras no Município de Estância. **Relatório Técnico**, 2006.

SANTOS, A.R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo, Viçosa, MG**. 2001. 141f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SCHLINDWEIN, S. L.; D'AGOSTINI, L. R. Sobre o conceito de agroecossistema. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 1998, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBS, 1998

SIFUENTES, J. A. M. **Sistemas de Producción Agropecuário**. Departamento de Ciências Biológicas. Universidad de Gualadajara. Tepatitlán de Morelos, Jalisco – México. 2004. 239p.

SILVA, D.D.; et al. Escoamento Superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v.21, n.1, p.12-20, jan. 2001.

SINTONI, A. Mineração: O feio fundamental. In: **Areia & Brita**, nº. 16. Out-Dez de 2001

SOUZA, G.; RODRIGUES, D. M.; SIQUEIRA, R. C.; RODOVALHO, F. C. C., ANTUNES, E. C. **Degradação em área de preservação permanente por extração de areia no Rio Turvo**, 2004. Disponível em <http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/DegradacaoemAPP.pdf>

TOLEDO, A. M. A. **Evolução espaço-temporal da estrutura da paisagem e sua influência na composição química das águas superficiais dos Ribeirões Piracicamirim e Cabra - SP**. 2001. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2001.

VALLEJO, L. R. **A influência do 'litter' na distribuição das águas pluviais**. 1982. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1982.

VALENTE, O. F. e CASTRO, P.S. Manejo de bacias hidrográficas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.7, n.80, p.40 -45, mar. 1987.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WAGNER, A. A eleição presidencial e a mineração. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 20 de setembro de 2002. p. A3.

CAPÍTULO 3

APLICAÇÃO DE MODELO HIDROLÓGICO NA BACIA DO RIACHO DAS CAPIVARAS/SE COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL

1. Resumo

ROSAS, Fabrícia Nascimento. **Aplicação de modelo hidrológico na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE, como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental.** 2009. 115p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.¹

Conhecer o volume de escoamento superficial é fundamental para auxiliar na tomada de decisão direcionada ao controle da erosão e ao planejamento ambiental. O Método do Soil Conservation Service (MSCS) permite estimar a parcela da precipitação que resulta no escoamento superficial. Ele tem como principal variável o número da curva de escoamento superficial (*CN*) que é estimado com base nas informações do solo e da cobertura vegetal. Este trabalho teve por objetivo geral desenvolver uma metodologia para planejamento e gerenciamento ambiental, através da elaboração e análise de diferentes cenários de uso dos recursos ambientais, considerando variações temporais dos mesmos, visando dar subsídios à geração de mecanismos de manejo da bacia hidrográfica. Com dados de precipitação diária de uma série histórica (1948-1970), foi simulado, no MSCS, o escoamento superficial produzido em quatro diferentes cenários de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE. Com estes dados de escoamento, foi construída a curva de permanência de vazão para cada cenário, possibilitando o conhecimento das vazões de referência da área para cada cenário de futuro. O Cenário 3 mostrou-se mais indicado para conter os processos de degradação ambiental da área, visto que a manutenção das áreas de preservação permanente aumentou o volume de água infiltrado e reduziu o escoamento, o que, sob o aspecto de produção de água, é mais interessante pois, proporciona o aumento da disponibilidade hídrica na região.

Comitê orientador: Arisvaldo Vieira Mello Júnior – DEA/UFS (orientador), Alceu Pedrotti – DEA/UFS, Marcus Aurélio Soares Cruz- CPATC/ EMBRAPA.

2. Abstract

ROSAS, Fabrícia Nascimento. **Aplicação de modelo hidrológico na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE, como ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental.** 2009. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.¹

The Knowledge about the volume of surface runoff is essential to assist in decision making directed toward the control of erosion and environmental planning. The method of Soil Conservation Service (MSCS) allows to estimate the portion of precipitation that results in surface runoff. The MSCS has as main variable the number of the curve of surface runoff (*CN*) which is estimated based on the information of soil and plant cover. This work aimed to develop a methodology for planning and environmental management through the development and analysis of different scenarios of use of environmental resources, seeing the temporal variations of them, to give subsidies to the management of river watershed. With daily precipitation data from a historical series (1948-1970), was simulated in MSCS, the surface runoff produced in four different scenarios of land use and occupation of the watershed of the Riacho das Capivaras / SE. With this data of surface runoff, the curve for permanence of flow for each scenario was built, allowing the knowledge of the flow of the reference area for each scenario in the future. the Scenario 3 was more suitable for the process block environmental degradation of the area, since the maintenance of areas of legal reserve and permanent preservation increased the volume of water infiltration and reduced surface runoff, which, under the aspect of production of water, is more interesting because it provides increased water availability in the region.

Guidance Committee: Arisvaldo Vieira Mello Júnior – DEA/UFS (Major professor), Alceu Pedrotti – DEA/UFS, Marcus Aurélio Soares Cruz- CPATC/ EMBRAPA.

3. Introdução

O estudo dos recursos hídricos disponíveis na natureza, sua quantificação, e a caracterização de seu comportamento em termos de variabilidade temporal e espacial é essencial para permitir sua utilização, necessária à sobrevivência humana. Esta utilização dá-se através do uso e ocupação do solo que, na maioria das vezes, altera o regime do rio. A ocupação das terras por atividades humanas produz alterações importantes nos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica. Quando esta ocupação é realizada de forma intensiva, processos de erosão do solo são desencadeados e acelerados, ocasionados principalmente, pelo escoamento das águas superficiais. Os efeitos resultantes podem proporcionar graus de degradação irreversível, alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo, como: porosidade do solo, teor de matéria orgânica, capacidade de infiltração, retenção e redistribuição de água no perfil, que refletem na produção de água.

A água é um recurso natural renovável, único e essencial à vida, seu uso múltiplo exige um plano adequado de manejo. A degradação do meio ambiente devido à falta de planejamento e uso inadequado dos recursos naturais têm se agravado com o passar dos anos, acarretando problemas sérios, não só de ordem sócio-econômica, mas também no que diz respeito à saúde e qualidade de vida da população. O desmatamento das florestas e matas ciliares, a ocupação desordenada e inadequada da terra tem contribuído para a acentuação gradual das enchentes, perdas de solo por erosão, variações climáticas, assoreamento e contaminação de redes de drenagens, proporcionando um elevado prejuízo econômico social.

Tendo em vista a complexidade de se estudar e prever impactos ambientais, torna-se necessário o estudo integrado do problema analisado dado que os processos envolvidos nos agroecossistemas ou nos ambientes naturais não ocorrem de modo isolado, não podendo ser analisados de forma reducionista. No caso dos agroecossistemas, processos ecológicos, econômicos e sociais estão envolvidos. O uso de modelos matemáticos e simuladores que representem e integrem as variáveis envolvidas nos processo de sustentabilidade constituem-se em importante ferramenta na pesquisa. Os modelos permitem avaliar e compreender o comportamento de processos que possam induzir o aparecimento de impactos negativos. Permitem, muitas vezes, visualizar o comportamento futuro do sistema com a criação de cenários ainda não explorados em experimentos reais, reduzindo gastos e otimizando tempo. Entretanto, a carência de banco de dados apropriados e sistemas de análise funcionais tem

sido um fator limitante para que se possa qualificar, quantificar, simular e prever riscos ambientais.

O presente trabalho tem por objetivo geral desenvolver uma metodologia para planejamento e gerenciamento ambiental, através da elaboração e análise de diferentes cenários de uso dos recursos ambientais, visando dar subsídios à geração de mecanismos de manejo da bacia hidrográfica. A metodologia será aplicada como um protótipo na bacia do Riacho das Capivaras e poderá servir de base para orientar o manejo de outras bacias em todo Estado de Sergipe.

4. Referencial teórico

4.1. Bacias Hidrográficas

A crescente demanda por água nos centros urbanos, industriais e agrícolas exerce, pressão constante e significativa sobre os recursos hídricos, levando ao reconhecimento de que a função da bacia hidrográfica não é, apenas, a produção de água. Uma bacia hidrográfica engloba todas as modificações que os recursos naturais venham a sofrer. Não existe área qualquer da Terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia ou micro-bacia, (CRUZ, 2003). A bacia pode ser definida como uma unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas (MACHADO, 2002). A bacia hidrográfica também pode ser caracterizada como um volume, por possuir uma distribuição tridimensional que se inicia com os usos da terra, passa pelo perfil de solo e engloba as rochas que sustentam a bacia (PRADO, 2005).

Seu papel hidrológico é o de transformar uma entrada de água, de volume concentrada no tempo (precipitação), em uma única saída de água (escoamento) (GROSSI, 2003). Sob este aspecto, a sub-bacia hidrográfica, pode ser considerada como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante (MOLDAN e CERNY, 1994). Ambientalmente, pode-se dizer que a bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, tais como a ocupação das terras com as atividades agrícolas (JENKIS et al., 1994).

A água é um recurso natural renovável, escasso e está distribuído de forma desigual no planeta, tornando o manejo e a preservação de bacias hidrográficas, temas relevantes nos últimos anos. O manejo de bacias hidrográficas é uma ciência ou arte que trata da gestão para se conseguir o uso apropriado dos recursos naturais em função da intervenção humana e suas necessidades, proporcionando ao mesmo tempo a sustentabilidade, a qualidade de vida, o desenvolvimento e o equilíbrio do meio ambiente (FAUSTINO, 1996). Cada bacia hidrográfica deve ter um plano de utilização integrada de recursos hídricos, o qual deve constituir o referencial para todas as decisões e intervenções setoriais nestes recursos (CRUZ, 2003).

O estudo em bacias hidrográficas possibilita a integração dos fatores que condicionam a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, com os seus reais condicionantes físicos e antrópicos, (HEIN, 2000). A eleição da micro-bacia como unidade de planejamento traz, entre outras, as seguintes vantagens: (a) racionaliza a aplicação de recursos; (b) estimula a organização dos produtos; (c) reduz custos; (d) promove a execução de práticas conservacionistas de forma integrada; (e) reduz riscos ambientais; (f) realimenta mananciais e como consequência dos fatores citados, recupera a credibilidade da assistência técnica e da extensão rural (BRAGAGNOLO, 1997).

A qualidade de cada corpo d' água está relacionada à geologia, ao tipo de solo, ao clima, ao tipo e quantidade de cobertura vegetal e ao grau de modalidade de atividade humana dentro da bacia hidrográfica (VALENTE e CASTRO, 1987). E, embora o uso e ocupação das bacias hidrográficas influenciem, segundo RANZINI (1990) em última instância, a qualidade e quantidade das águas superficiais e subterrâneas, não significa dizer que estas variáveis sejam menos importantes que as demais, até porque, são as únicas que podem ser modificadas pelo homem em função dos mais diversos propósitos. A presença da cobertura do solo proporciona uma diminuição do escoamento superficial, da capacidade de transporte de agregados, do processo de selamento superficial, e um aumento da taxa de infiltração da água no solo. A freqüente retirada de vegetação, para implantação a agroecossistemas de baixo nível tecnológico produz um efeito final que pode ser observado na degradação acelerada dos solos e das águas superficiais e subterrâneas (GOUDIE, 1995).

SILVA et al. (2001) relatam que quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, tanto menor a ocorrência de perda do solo e menor degradação da água, notadamente nas regiões tropicais e subtropicais. DONADIO et al. (2005) avaliaram a influência de remanescentes de vegetação ciliar e da ação antrópica na

qualidade da água, em quatro nascentes da bacia hidrográfica do Córrego Rico, localizadas nos municípios de Taquaritinga e de Guariba – SP. Nas nascentes com vegetação natural remanescente, a qualidade da água mostrou-se melhor que nas nascentes com uso agrícola, sendo as variáveis: cor, turbidez, alcalinidade e nitrogênio total as que mais explicaram essas diferenças.

Estudos feitos por GARCIA et al. (2006) revelam que a inadequação de uso do solo, devido à rápida expansão da cultura da cana-de-açúcar em áreas não recomendadas, especialmente em função do relevo e do tipo de solo da bacia avaliada, potencializa o processo erosivo dos solos cujos sedimentos são carreados para os cursos d'água, juntamente com componentes dos fertilizantes utilizados nas culturas. Igualmente, o tipo de cobertura do terreno afeta o volume de água dos rios locais, pelo aumento do deflúvio em detrimento da infiltração. Isto ocasiona aumento na erosão e diminuição na capacidade de recarga dos aquíferos subordinados ao sistema. BORGES et al. (2006) quantificaram o reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, em Jaboticabal/SP, proposto na metodologia Florestamentos Compensatórios para Retenção de Água em Micro-bacias (FCRAM). Esta metodologia estima a retenção de água em micro-bacias considerando: o valor médio mundial de destino da água no ciclo ecológico, os usos/ocupação do solo (floresta, pastagem e agricultura) e a estimativa da permeabilidade. A bacia do Córrego Palmital possui 86% de sua área ocupada por agricultura e 5% ocupados por pastagens, as florestas respondem por apenas 2% da área total. Para reter o volume total de água, estimado em metodologia FCRAM, para compensar a perda que ocorre em excesso nas áreas de pastagens e agricultura, os autores propõem o reflorestamento compensatório de 8,87% da área da bacia.

FERREIRA et al. (2007) verificaram que, baseado no percentual de escoamento superficial de 46,6% e no valor de vazão máxima de $23,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, avaliados em conjunto com informações de relevo e solo, a bacia do córrego João Pedro (ES), possui boa infiltração de água no solo o que favorece as atividades agrícolas. Nesta bacia, a classe de uso do solo predominante foi a floresta natural (46,6%) o que do ponto de vista hidrológico, é um bom resultado, já que áreas cobertas por florestas tendem a apresentar boa infiltração. Além da floresta, a bacia do córrego João Pedro é ocupada por pastagem (35,8%) e agricultura (11,6%). As categorias solos expostos e uso urbano correspondem a 3,4% e 2,6%, respectivamente.

O uso e ocupação do solo não interferem apenas na qualidade da água, também causa alterações nos ecossistemas aquáticos. CORBI (2006) analisou a influência de diferentes práticas de manejos de solo sobre os macro-invertebrados aquáticos de córregos localizados em áreas adjacentes, com especial ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar, na bacia do Rio Jacaré-Guaçu. Os córregos protegido por mata ciliar apresentaram uma fauna de macro-invertebrado mais rica e heterogênia do que em córregos situados em áreas abertas que são habitados por uma fauna mais homogênea e pobre.

A partir dos estudos citados é possível perceber que uma proposta para manejo de bacias hidrográficas, em suma, refere-se ao ordenamento do uso e ocupação da paisagem, observadas as aptidões de cada segmento e sua distribuição espacial na respectiva bacia hidrográfica. Para PIRES e SANTOS (1995), o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas devem incorporar todos os recursos naturais / ambientais da área de drenagem da bacia e não apenas o hídrico. Deve integrar os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais, com ênfase ao primeiro, pois a capacidade ambiental de dar suporte ao desenvolvimento possui sempre um limite, a partir do qual, outros aspectos serão inevitavelmente afetados. Em outras palavras, as características intrínsecas de cada sub-bacia hidrográfica condicionam seu uso e a ocupação, determinando as potencialidades e limitações.

4.2. Ciclo hidrológico e Escoamento superficial

Para SILVEIRA (1997), o estudo dos recursos hídricos implica em conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. O ciclo hidrológico (Figura 23), é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado principalmente pela energia solar, associada à gravidade e à rotação terrestre (GOLDENFUM e TUCCI, 1996). É o elemento fundamental da hidrologia, representando a água em fases distintas e independentes, desde a ocorrência de precipitações até seu retorno à atmosfera sob a forma de vapor. O ciclo hidrológico caracteriza o comportamento natural da água quanto à sua ocorrência, transformações de estado e relações com a vida humana. Envolve diversos processos hidrológicos, fatores que tem influência sobre as bacias hidrográficas, em especial a vegetação, de que maneira ela interfere na dinâmica das bacias hidrográficas e qual é a sua importância para manutenção destas, via processos de interceptação sendo condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação, exemplos de processos verticais, e os escoamentos superficial e sub-superficial, exemplos de processos horizontais (KOBAYAMA, 1999).

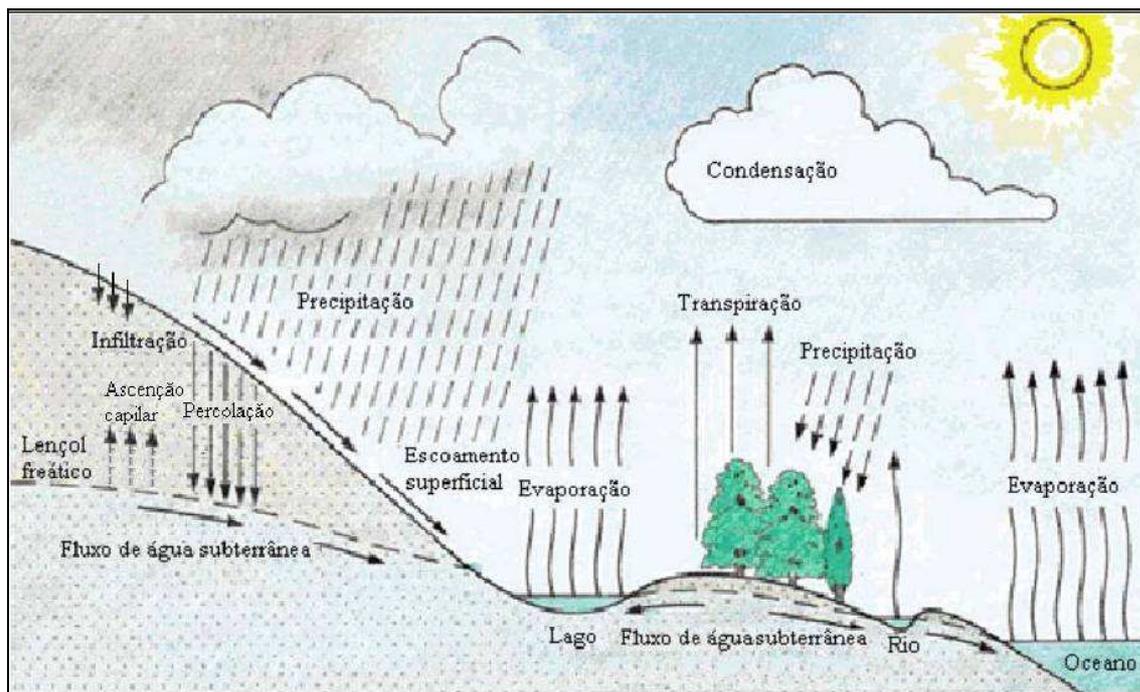


FIGURA 23. Esquema representativo do ciclo hidrológico (ZANETTI, 2007).

Para a compreensão do ciclo hidrológico, pode-se descrevê-lo como tendo início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar e, sob determinadas condições, é condensado, formando nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersa de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoar sobre a superfície do solo (escoamento superficial) ou através do solo para os rios (escoamento sub-superficial), enquanto que parte penetra profundamente no solo (infiltração), indo suprir o lençol d'água subterrâneo (VILLELA e MATTOS, 1975).

A precipitação é entendida em hidrologia como o conjunto de águas originadas do vapor d'água atmosférico que atinge a superfície terrestre. O conceito engloba a chuva, a neblina, a saraiva, o orvalho, a geada e a neve. Suas principais características são o seu total, duração e distribuições temporal e espacial. A chuva ou precipitação pluvial é o tipo mais importante para a Hidrologia por sua capacidade para produzir escoamento superficial, contribuindo para a vazão dos rios (TUCCI, 1997).

O escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico que trata do conjunto das águas que, por efeito da gravidade, se desloca na superfície terrestre. É a parcela do ciclo em que a

água se desloca na bacia até encontrar uma calha definida (NETO et al., 2004). Quando ocorre precipitação numa área com cobertura vegetal, uma parte do volume total precipitado é interceptada pela vegetação e o restante atinge a superfície do solo. No momento em que a intensidade de precipitação supera a taxa de infiltração da água no solo, a água começa a preencher as depressões existentes em sua superfície e, na seqüência, ocorre o escoamento superficial (LINSLEY et., 1975; MOHAMOUD et al., 1990).

De modo geral, sob uma intensidade constante de chuva, a infiltração e o escoamento superficial são processos antagônicos: à medida que um diminui (infiltração) o outro aumenta (escoamento), até atingirem certo equilíbrio dinâmico (estabilização). Segundo PRUSKI et al. (2003), a cobertura e os tipos de uso do solo, além de seus efeitos sobre as condições de infiltração de água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da chuva. Quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal, a rugosidade da superfície do solo e a evapotranspiração da cultura, maiores serão as taxas de infiltração de água no solo quando ocorrer uma chuva e conseqüentemente, menores serão as perdas por escoamento superficial. A inclinação do declive do terreno é outro fator que influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, maiores serão o volume e a velocidade do escoamento superficial e menor será a taxa de infiltração de água no solo. Com isso, aumenta a capacidade de transporte das partículas de solo por enxurrada, assim como a própria capacidade de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido pendente do terreno (COGO et al., 2003).

Quando a bacia é rural e possui cobertura vegetal, o escoamento sofre a interferência desta cobertura e grande parte dele se infiltra. O escoamento em bacias urbanas é regido pela interferência do homem através de superfícies impermeáveis e sistemas de esgotos pluviais (BARRETO NETO et al., 2004). O escoamento superficial é, portanto, a combinação do fluxo de pequena profundidade na superfície com escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem da bacia hidrográfica. A representação do escoamento em seus menores detalhes é difícil, devido à grande variabilidade das condições físicas da bacia (TUCCI, 1997).

O escoamento superficial é o principal processo associado à erosão hídrica. Este promove o transporte de partículas do solo em suspensão, fertilizantes químico, matéria orgânica, sementes, agrotóxicos que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária também podem causar a poluição dos cursos d'água (BRAGA, 2000).

Periodicamente, milhões de toneladas de solo erodido, transportados pelo escoamento superficial, são depositados em rios, lagos e reservatórios. Além da condução de alta carga de

sedimentos, o carreamento de nutrientes para mananciais pode estimular o crescimento de algas e acelerar a eutrofização dos mesmos. Adicionalmente, uma carga excessiva de sedimentos pode deteriorar ou destruir habitats aquáticos, reduzir o valor estético e reduzir a capacidade de armazenamento de reservatórios (RAUHOFER et al., 2001).

Estimativas do escoamento superficial são importantes para se verificar o risco da ocorrência de erosão (YOUNG et al., 2002) e, ou, de enchentes. Dados de escoamento e perda de solo são freqüentemente obtidos em parcelas experimentais, as quais não consideram a influência topográfica e de superfície na produção de escoamento e sedimentos. Portanto, estes dados não podem ser extrapolados para quantificar processos em nível de encostas, que são afetados expressivamente por variações topográficas e hidrológicas (HUANG et al., 2001). O escoamento superficial pode ser estimado por métodos empíricos, de uso generalizado em estudos hidrológicos, e por meio da modelagem hidrológica a partir de fundamentos físicos.

4.3. Modelagem hidrológica

A modelagem hidrológica é uma técnica que possibilita o melhor entendimento e representação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, sendo que os modelos hidrológicos possuem grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. Segundo TUCCI (1998), com o aumento de computadores a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, sendo uma alternativa em relação aos modelos até então existentes e que utilizavam somente métodos estocásticos. O uso de modelos estocásticos e determinísticos tem contribuído para o conhecimento da evolução dos sistemas ambientais, bem como têm auxiliado o planejamento e gerenciamento das organizações espaciais e uso dos recursos naturais em escala local, regional e global (CRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos matemáticos e físicos têm estado presentes, nos últimos anos, no desenvolvimento de diversas áreas do conhecimento humano, científico e das ciências naturais. Esta importância deve-se, entre outros aspectos, ao fato de poder obter relações de causa e efeito, sem que com isso se tenha efetivamente realizado alguma ação sobre o modelo físico real (MOREIRA, 2005). Os modelos baseados em processos físicos têm vários parâmetros e devem ser calibrados em relação aos dados observados. Normalmente, há muitas

combinações de parâmetros que podem reproduzir os dados observados, em particular quando é considerado somente um aspecto de desempenho do modelo. Este problema surge devido a erros na estrutura do modelo, condições de contorno e variabilidade dos dados observados (BELDRING, 2000).

Segundo TUCCI (1998), um modelo matemático pode ser definido como a representação de um sistema físico por meio de equações, ou seja, a representação do comportamento de uma estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado intervalo de tempo interrelaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação.

O surgimento de problemas ambientais muito complexos estimulou o desenvolvimento da modelagem ecológica e ambiental como uma poderosa ferramenta de síntese. Os modelos representam uma síntese dos diferentes elementos de um sistema e têm a capacidade de fornecer novos conhecimentos sobre as reações e propriedades do sistema (SANTOS e ZEILHOFER, 2005). O modelo é composto por um grupo de funções integradas em uma plataforma de simulação, seja este mais simples ou mais complexo. Todavia, todos possuem graus de simplificação, com o intuito de reduzir necessidades computacionais e acomodar somente uma representação detalhada do processo considerado mais relevante nas suas aplicações (PRADO, 2005).

Modelar, para a hidrologia, é a representação de um sistema (hidrológico), com objetivo de determinar, de maneira precisa e eficiente, os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, e estimar eficientemente o comportamento e a magnitude da água (MOTA, 1999). PULLAR e SPRINGER (2000), definem modelos hidrológicos como representações matemáticas do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou sub-superfície terrestre, que permitem a simulação de processos físicos nas suas dimensões temporais. Trata-se de uma ferramenta desenvolvida para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. Como os processos hidrológicos são contínuos no tempo e no espaço, sua representação por modelagem matemática implica em um grau de discretização dos dados utilizados (BARRETO NETO, 2004). De maneira geral, estes modelos apresentam formulações empíricas para representar os fenômenos que ocorrem na bacia hidrográfica, e conseqüentemente, os parâmetros obtidos a partir das simulações relacionam-se mais qualitativamente do que quantitativamente com a física da bacia hidrográfica (TUCCI, 1998).

A principal vantagem da aplicação de modelos está na possibilidade do estudo de vários cenários diferentes e de forma rápida, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais. Outra importante vantagem da utilização de simulação de cenários está associada ao seu baixo custo. Na maioria das aplicações, o custo de executar um programa computacional é de magnitude muito menor do que o correspondente custo relativo à investigação experimental. Esse fator adquire maior importância à medida que o problema real estudado apresenta maiores dimensões e complexidade (como uma bacia hidrográfica), além dos custos operacionais mais elevados relativos às pesquisas de campo (PRADO, 2005). A maior limitação do uso de modelos é a dificuldade em trabalhar grande quantidade de dados que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais.

Por essas razões, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são empregados na criação do banco de dados desses modelos. Por ser o uso desses modelos limitado pela necessidade de dados espaciais e por proporcionarem aos SIGs grande facilidade em manipular esses dados, a união dessas duas tecnologias representa um importante passo para o manejo de bacias hidrográficas (PRADO, 2005). Esta integração permite a visualização de cenários passados ou atuais e também simular cenários futuros a baixo custo e de forma rápida. O acoplamento de SIGs com modelos hidrológicos facilita a manipulação de informações espaciais e permite a interpretação dos resultados de simulações no contexto geográfico. SANTOS e ZEILHOFER (2005) salientam que os modelos que representam espaço, tempo, escala e objetos em SIG não são compatíveis com a maioria dos modelos hidrológicos. Estes autores enfatizam limitações dos bancos de dados espaciais e não-espaciais utilizados em SIGs na representação da característica dinâmica de fenômenos hidrológicos.

Para TUCCI (1998), a utilização de modelos matemáticos do tipo hidrológico baseia-se em três condições fundamentais: (i) objetivos do estudo, (ii) dados disponíveis e (iii) metodologia proposta. O objetivo do estudo define o nível de precisão desejado para a representação dos fenômenos que ocorrem na bacia hidrográfica. Em contrapartida, esta precisão depende da quantidade e qualidade dos dados disponíveis para aferir a metodologia, assim o modelo hidrológico é escolhido de acordo com o objetivo do estudo, que definirá o nível de precisão desejado, estando implícitas as questões relacionadas à disponibilidade dos dados.

O Soil and Water Assessment Tool (SWAT) é um desses modelos matemáticos que foi desenvolvido pelo Agricultural Research Service e pela Texas A&M University, em 1996.

O modelo é de domínio público, e tem o objetivo de simular os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água, permitindo a simulação de diferentes processos físicos em uma bacia hidrográfica (PRADO, 2005). Baseia-se, para tanto, em características físicas da bacia, usa dados de entrada normalmente disponíveis, é computacionalmente eficiente para ser utilizado em médias a grandes bacias e, é contínuo no tempo, podendo simular longos períodos de forma a computar os efeitos das alterações no uso do solo. O modelo apresenta sete componentes nas áreas de hidrologia, clima, sedimentos, crescimento vegetal, manejo agrícola, nutrientes e pesticidas; e foi desenvolvido para prever o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacias hidrográficas agrícolas (NEITSCH et al., 2002).

Outro modelo é o Sistema MOHID, uma ferramenta numérica utilizada para definir os limites dos estuários Portugueses. O desenvolvimento deste sistema iniciou-se em na década de 80, vindo a ser objeto de sucessivos aperfeiçoamentos na seqüência da respectiva aplicação a diferentes projetos científicos e tecnológicos. Atualmente este sistema de modelação matemática pode ser classificado com um dos mais elaborados entre os sistemas existentes deste tipo, nomeadamente no que respeita às inovações na coordenada vertical e à programação robusta e fiável (NEVES, 1985).

O sistema *MOHID* foi programado recorrendo à programação orientada por objetos, utilizando o *ANSI Fortran 95*. O sistema se encontra dividido em diferentes módulos, podendo cada um deles ser entendido com um modelo específico, sendo, no entanto o sistema composto por um único ficheiro executável. A utilização do *ANSI Fortran 95* garante a independência do sistema *MOHID* face ao sistema operativo no qual se pretende executar o modelo (*Windows, Linux, Unix, etc.*) e uma fácil implementação do código em qualquer ambiente. O tempo de execução do programa (tempo simulado *versus* tempo da unidade central de processamento) varia em função da malha de cálculo e do passo de tempo utilizado. No entanto, a possibilidade de correr os vários módulos (hidrodinâmica, turbulência, deriva, etc.) com passos de tempo diferentes permite uma otimização do tempo de cálculo necessário para a execução das simulações (MOHID, 2002).

Os modelos do tipo chuva-vazão possuem várias simplificações em relação ao meio físico que buscam representar. Apesar disso, tais modelos são muito valiosos na engenharia de recursos hídricos, em especial em áreas com grande carência de dados fluviométricos ou de difícil previsibilidade. A baixa complexidade estrutural, menor exigência nos dados de

entrada e relativa facilidade de calibração são fatores que apontam os modelos concentrados como ferramentas ainda bastante úteis aos hidrólogos, a despeito dos avanços dos modelos distribuídos (DI BELLO, 2005).

O método do Soil Conservation Service - SCS, modelo do tipo chuva-vazão, utiliza a chuva total para o cálculo da infiltração. Alguns autores fazem críticas quanto ao método do SCS. Para estes, a fórmula não tem base física, pois se derivando a equação em relação ao tempo, a taxa de infiltração torna-se diretamente proporcional à taxa de chuva. Isto diverge da teoria física da infiltração, pois para um solo saturado a taxa de infiltração decresce com o tempo, independentemente da chuva. O método do SCS produz uma curva decrescente da infiltração somente para uma taxa de chuva constante. Outra falha apontada é na estimativa da equação da abstração inicial. Os dados utilizados ajustaram-se a uma reta. Entretanto se os pontos forem "plotados" em escala logarítmica o ajuste não é bom. Porém, este método continua sendo utilizado por ser de fácil aplicação. O método não deve ser abandonado, pois se conhecendo as suas restrições e aplicando-se de maneira correta não haverá problemas (MARCELLINI, 1994).

Outro método é o ABC (Análise de Bacia Complexas) utilizado em situações onde as únicas informações são dados de chuvas diárias e quando se pretende analisar diferentes cenários representativos das condições hidrológicas da bacia. Este sistema que roda em ambiente Windows® 32 bits e usa tecnologia ActiveX. Estes recursos permitem a obtenção de uma interface ágil e amigável, com uma disposição gráfica atual. O sistema dispõe de gráficos ilustrativos e interativos, fórmulas empíricas para facilitar o usuário a estimar valores para situações precárias de informações e, relatórios para análises de cenários que poderão ser impressos ou transferidos para qualquer editor de texto (OLIVEIRA et al, 2006).

4.4. Método do SCS

O Método do SCS (MSCS) foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (1972), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), a partir da análise dos dados de um grande número de bacias hidrográficas experimentais. É um método amplamente experimentado e utilizado para estimar o escoamento superficial e, conseqüentemente, o fluxo de rios e recarga de água, infiltração, umidade do solo e transporte de sedimentos a partir de dados de precipitação e de outros parâmetros da bacia (umidade inicial, tipo, uso e condição hidrológica do solo). E pode ser continuamente adaptado para

auxiliar projetos de obras hidráulicas, trabalhos de conservação de solos e controle de enchentes (SCS, 1972; PULLAR e SPRINGER, 2000).

Para ZANETTI (2007), como este método foi desenvolvido para obtenção da lâmina de escoamento superficial, considerando constante a intensidade de precipitação para uma dada duração, não permite a obtenção de vazões que ocorrem durante o evento analisado. A autora em seu trabalho de modelagem hidrológica utilizando o modelo HidroBacia e comparando a outros modelos, verificou que valores de vazão máxima e escoamento superficial calculados pelo Método do SCS foram superestimados em relação a outros (HidroBacia e Racional). Para ela, esta distorção deve-se ao fato de que o MSCS não considera o perfil da precipitação na estimação do escoamento superficial e a taxa de infiltração da água no solo é considerada de forma indireta, por meio do enquadramento do solo em grupos pré-estabelecidos, possibilitando que solos com diferentes taxas de infiltração apresentem o mesmo comportamento em relação ao escoamento superficial, o que não se observa na prática.

Como característica positiva, MACHADO (2002) considera a simplicidade do método e o fato de estar focado nas principais características físicas de uma bacia que produzem escoamento superficial.

O escoamento superficial simulado por BARRETO NETO e FILHO (2003) manteve-se muito próximo do escoamento superficial observado em campo, em todos os cinco eventos simulados. As duas primeiras vazões calculadas (meses de junho e outubro) foram as que mais se distanciaram da vazão observada, aproximadamente 50%, segundo o autor, isto ocorreu pelo fato do MSCS apresentar pouca acurácia para pequenos volumes de chuva.

SOUZA et al. (2005) também observaram uma super-estimativa do escoamento superficial obtido pelo MSCS em relação ao escoamento medido, indicando a necessidade de se ajustar o método às condições locais de clima e cultura, antes de sua adoção para previsão de escoamento superficial em determinada bacia hidrográfica.

SILVA (2006) também observou uma diferença expressiva para o escoamento estimado, de maneira geral, o MSCS superestima o deflúvio observado. Resultados semelhantes foram encontrados por MELLO (2003), o qual avaliou a aplicação deste método em uma sub-bacia de fluxo efêmero, encontrando erros de elevada magnitude na predição do deflúvio.

Na aplicação do MSCS, as características físicas da bacia, tais como o grupo hidrológico do solo, uso da terra, condição hidrológica do solo e umidade antecedente, são de

fundamental importância, uma vez que a combinação destas características determina a escolha do parâmetro curva número (*CN*), o qual estima o escoamento superficial gerado por uma chuva. O parâmetro *CN* é um parâmetro adimensional que varia de 0 (ex., sem geração de escoamento superficial) a 100 (ex., toda a chuva é convertida em escoamento superficial). Esta escala relata as condições de cobertura do solo, variando desde uma cobertura muito permeável até uma cobertura completamente impermeável, e de um solo com grande capacidade de infiltração para um solo com baixa capacidade (BARRETO NETO, 2004). Na prática, o método é usado para determinar a lâmina de escoamento superficial baseando-se na lâmina de precipitação e no número da curva, sem considerar diretamente a duração e a intensidade de precipitação.

O cálculo do escoamento superficial gerado por uma chuva, através do MSCS, é realizado em quatro etapas (SCS 1972): (1) Determinação do Grupo Hidrológico do Solo (GHS); (2) determinação do parâmetro *CN* do escoamento superficial com base no GHS, tipo de uso da terra, tratamento dado à cultura agrícola e condição hidrológica do solo; (3) determinação da umidade do solo com base nas chuvas de cinco dias pretéritos a uma determinada precipitação diária registrada, a qual se deseja simular o escoamento superficial; (4) cálculo do escoamento superficial gerado pela precipitação selecionada na etapa 3.

4.4.1. Grupos hidrológico dos solos

Neste método, os solos são classificados com base nos quatro GHS definidos pelo SCS (SCS 1972; RAWES et al. 1992). Esta classificação foi realizada a partir de análise das características do solo de permitir uma maior ou menor capacidade de infiltração de águas provenientes de precipitações, com enfoque maior na textura do solo. A profundidade é mencionada apenas na definição dos grupos A e B, porém sem apresentar um limite de profundidade. No grupo C estão basicamente os solos de textura moderadamente fina a fina, ou seja, solos compostos por silte e argila. Os solos argilosos pertencem ao grupo D. Isso induz a maioria dos usuários do método no Brasil a considerar apenas a textura superficial do solo para enquadrá-los em um dos grupos hidrológicos usando a classificação original apresentada pelo SCS, já que outras características importantes do ponto de vista da formação do escoamento superficial não estão incluídas na definição dos grupos hidrológicos (SARTORI et al., 2005).

LOMBARDI NETO et al. (1989) utilizando a metodologia do SCS com base no Levantamento dos Solos do Estado de São Paulo (Brasil, 1960) e nos índices de erodibilidade dos solos (K) estabelecidos por BERTONI (1978), propuseram uma definição para os grupos hidrológicos de acordo com suas características e resistências à erosão. Para SARTORI et al. (2005), essa classificação traz a definição de cada grupo na forma de critérios, considerando as principais características dos solos que condicionam o escoamento superficial e a erosão, as quais são: a profundidade, a textura, a razão textural entre o horizonte superficial e sub-superficial, e a permeabilidade dos solos influenciada pela sua porosidade e pela atividade de argila.

SARTORI et al. (2005) compreendendo que a classificação proposta por LOMBARDI NETO et al. (1989) é adequada para o uso com o método do SCS nas condições dos solos do Brasil, apresentou uma proposta para extensão dessa classificação para a nova nomenclatura do atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). As definições dos grupos hidrológicos do solo e a proposta para o enquadramento em primeiro nível categórico (ordem) das classes são apresentadas a seguir.

Grupo Hidrológico A

- › Solos muito profundos (prof. > 200cm) ou profundos (100 a 200 cm);
- › Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância a erosão;
- › Solos porosos com baixo gradiente textural (<1,20);
- › Solos de textura média;
- › Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macro-porosidade em todo o perfil;
- › Solos bem drenados ou excessivamente drenados;
- › Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- › A textura dos horizontes superficial e sub-superficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo:

LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macro-

porosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

Grupo Hidrológico B

- › Solos muito profundos (100 a 200 cm);
- › Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão;
- › Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;
- › Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso;
- › Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macro-porosidade em todo o perfil;
- › Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;
- › A textura dos horizontes superficial e sub-superficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo:

LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

Grupo Hidrológico C

- › Solos muito profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);
- › Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância a erosão;
- › Solos porosos com gradiente textural variando maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta;
- › Solos associados a argila de atividade baixa (Tb);

› A textura nos horizontes superficial e sub-superficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.

Enquadram-se neste grupo:

ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.

Grupo Hidrológico D

- › Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;
- › Solos rasos (prof. < 50)
- › Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
- › Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- › Solos orgânicos.

Enquadram-se neste grupo:

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

4.4.2. Classe de tratamento, uso e condição hidrológica do solo

No MSCS, as condições de superfície da bacia hidrográfica são avaliadas em função da classe de tratamento, uso e condição hidrológica do solo. O tipo de uso da terra representa a cobertura que está sobre a bacia, tais como floresta, pântanos, pastagem, solo descoberto, áreas impermeáveis (telhados, rodovias), entre outras. O tipo de tratamento dado a terra, muito aplicado em áreas de solos agricultáveis, está relacionado a práticas mecanizadas, tais como plantação em contorno e em terraços, e a práticas de gerenciamento, tais como controle de pastagens, rotação, redução e associação de culturas. A associação entre tipo de uso e o tipo de tratamento da terra é denominada de classe. Alguns exemplos de classes encontradas sobre bacias são: plantação de cereais em curva de nível; florestas muito esparsas; florestas densas; pastagem densa, solo descoberto plano, estradas pavimentadas, entre outros (BARRETO NETO, 2004).

A associação de um GHS (A, B, C ou D) a um determinado tipo de uso e tratamento dado a terra é denominado complexo hidrológico solo-cobertura. A caracterização deste complexo permite a identificação do valor numérico do parâmetro *CN* em tabelas publicadas em bibliografia especializada (SCS 1972; RAWLS et al. 1992; TUCCI, 1998; TUCCI 2000).

O *CN* representa uma curva média de infiltração que separa a parte da precipitação que escoará superficialmente. Uma dispersão natural dos pontos em torno da curva média foi interpretada pela medida da variabilidade natural da umidade do solo e associado à relação chuva-escoamento. A condição de umidade antecedente foi usada como um parâmetro representativo dessa variabilidade (PONCE e HAWKINS, 1996). Dessa forma a variabilidade do *CN* depende do volume precipitado num período de 5 a 30 dias antecedente a uma determinada chuva, a qual é denominada de “Precipitação Antecedente” (USBR, 1977). Tendo em vista tal fato, o SCS definiu três condições de umidade antecedente do solo, as quais são:

Condição I: Condição em que os solos de uma bacia hidrográfica estão secos, mas não ao ponto de murchamento das plantas, é quando se ara ou cultiva bem o solo. A precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é menor que 13 mm (estação seca) e 36 mm (estação úmida).

Condição II: É o caso em que os solos encontram-se na “umidade ideal”, isto é, nas condições que precederam a ocorrência de uma enchente máxima anual em numerosas bacias

hidrográficas. A precipitação acumulada dos cinco dias anteriores está entre 13 e 28 mm (estação seca) e entre 36 e 53 mm (estação úmida).

Condição III: Condição em que os solos apresentam quase saturados, quando da ocorrência de chuvas fortes ou fracas e baixas temperaturas durante 5 dias anteriores a uma determinada precipitação. A precipitação acumulada dos cinco dias anteriores é maior que 28 mm (estação seca) e 53 mm (estação úmida).

A Tabela 1 traz uma adaptação das tabelas do *CN* para usos agrícolas, principalmente sobre as definições dos tipos de culturas e manejo agrícola. Os valores desta tabela foram baseados nos resultados de estudos de SARTORI (2004), nos trabalhos de SILVA (1996) e LOMBARDI NETO (não publicado), e também nos próprios valores do *CN* da tabela do SCS.

Tabela 1: Tabela do *CN* para usos agrícolas

Descrição da cobertura		Número da curva para os grupos			
Uso	Tratamento ou manejo do solo	A	B	C	D
Solo Exposto		83	86	91	94
	Terra arada + SRC	81	85	90	93
	RCS	75	83	88	90
Culturas Anuais (Ca)	N* + SRC	77	84	89	91
	N* + RCI	72	80	85	88
	N* + RCSI	66	74	80	82
	N* + RCS	63	70	77	80
Culturas Temporárias (Ct)	N*	65	75	81	83
	N* + RCS	61	71	78	81
Culturas Perenes (Cp)	N*	43	65	76	82
	N* + RCS	32	58	72	79
Pastagem	Degradada	68	79	86	89
	Nativa	49	69	79	84
	Melhorada	39	61	74	80
Reflorestamento	N*	45	66	77	83
	N* + RCS	35	55	70	77
Vegetação Natural	Capoeira	30	48	65	73
	Mata	20	40	49	52
Estradas e construções rurais < 50% impermeável		59	74	82	86
Estradas e construções rurais > 50% impermeável		72	82	87	89

Legenda:

N*: Plantio em nível ou contorno.

Ca: Culturas anuais (plantio e colheita anual). Ex.: milho, soja, etc.

Ct: Culturas temporárias (plantio a cada 3 ou mais anos). Ex.: cana-de-açúcar.

Cp: Culturas perenes. Ex.: pomar, café.

SRC: Sem resíduo cultural.

RCI: Resíduo cultural incorporado <2t/ha.

RCSI: Resíduo cultural semi-incorporado 2 a 4t/ha.

RCS: Resíduo cultural na superfície > 5 t/ha.

Pastagem:

Degradada – presença de compactação superficial, utilização de queimadas, e até 25% da área sem vegetação, mesmo no período chuvoso.

Nativa: Pasto natural sendo feito controle de manejo de animais e limpezas esporádicas.

Melhorada: Correção de acidez e fertilização, plantio de gramíneas adaptadas, manejo de animais.

4.4.3. Desenvolvimento matemático do MSCS

O escoamento superficial se inicia quando as parcelas de chuva perdidas por infiltração, evapotranspiração, interceptação e armazenamento em depressões, denominadas perdas iniciais, são menores do que a precipitação total.

A Equação do escoamento superficial definida pelo MHSCS é:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \quad (7)$$

Sendo Q (ou Pe) o escoamento superficial ou chuva excedente, P a precipitação, S o potencial de retenção máximo após o início do escoamento superficial e Ia as perdas iniciais (SCS, 1972).

Apesar do parâmetro Ia ser bastante variável, estudos realizados pelo SCS em muitas bacias de drenagens, mostraram que o Ia representa 20% de S (SCS, 1972), conforme Equação empírica abaixo:

$$Ia = 0,2 S \quad (8)$$

Logo, substituindo a Equação (8) na Equação (7), temos:

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad (9)$$

A Equação (9) é utilizada para a estimativa do escoamento superficial gerado por um volume de chuva acumulada em determinado intervalo de tempo (SCS, 1972).

O parâmetro S está relacionado ao solo e à condição de cobertura da bacia hidrológica através do parâmetro CN , conforme Equação (10), com S em polegadas, ou Equação (11), com S em milímetros (SCS, 1972).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (10)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (11)$$

4.5. Curva de permanência de vazões

A curva de permanência de vazões é definida como uma curva acumulativa de frequência da série temporal contínua dos valores das vazões que indica a porcentagem de tempo que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante o período de observação. É representada por um gráfico que relaciona a vazão (eixo “y”) e a porcentagem do tempo (eixo “x”), e representa o complemento da função distribuição cumulativa de probabilidades de vazões ou a probabilidade de excedente das vazões (VOGEL e FENNESSEY, 1994; HOLMES et al., 2002; CASTELLARIN et al., 2004; PERRY et al., 2004; CRUZ e TUCCI, 2008).

NAGHETTINI e PINTO (2007) definem curva de permanência como a variação do diagrama de frequências relativas acumuladas, na qual a frequência de não superação é substituída pela porcentagem de um intervalo de tempo específico em que o valor da variável, indicado em abscissas, foi igualado ou superado. Segundo CRUZ e TUCCI (2008) a permanência de uma vazão também pode ser interpretada como a probabilidade de ocorrência da vazão média diária do rio ser maior ou igual a um determinado valor, no período de sua amostra.

Na construção do gráfico da curva de permanência duas metodologias são consideradas como principais descritas em TUCCI (2000): i) ajuste de uma função matemática; e ii) a metodologia empírica. A função matemática parte do princípio que a curva resultante acompanha uma função matemática, e sugere a função usada na distribuição log-normal para representar a curva de permanência. A metodologia empírica consiste em estabelecer “n” intervalos de classe de vazões, de acordo com a magnitude das vazões e ordenados de forma decrescente, para em seguida se obter as respectivas freqüências a partir da contagem do número de vazões da série contido em cada intervalo. Esta última metodologia é a técnica mais utilizada na construção da curva de permanência visando principalmente o estudo da disponibilidade e potencialidades hídrica em bacias hidrográficas como descrito nos trabalhos de CÓRDOVA (2000); GARCIA et al, (2007); SANTOS e SILVA, (2007) e CRUZ e TUCCI (2008).

O gráfico da curva de permanência é amplamente utilizado em estudos hidrológicos nos quais os objetivos estão direcionados ao gerenciamento da qualidade da água, abastecimento de água, estudos hidrelétricos, controle de vazão, sedimentometria em bacias hidrográficas. VOGEL e FENNESSEY (1995) e CRUZ (2001) afirmam que a curva de permanência é caracteristicamente um instrumento sintetizador da variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos.

As curvas de permanência, além dos resultados diretos que fornecem para o estudo do aproveitamento das disponibilidades do curso d'água, constituem instrumento valioso de comparação entre bacias hidrográficas, representando os efeitos do relevo, da vegetação e uso do solo e da precipitação, na distribuição das vazões (EUCLYDES et., 2001).

A partir da curva de permanência são obtidas as vazões associadas às permanências de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}), muito utilizadas como vazões mínimas de referência para outorga de uso da água. O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, também dependente dos sistemas jurídico e econômicos locais. A vazão de referência é o estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso d'água e é, também, um dos principais entraves à implementação de um sistema de outorga (RIBEIRO, 2000; CÂMARA, 2003). A aplicação do critério de vazão de referência, segundo HARRIS et al. (2000), constitui-se em procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para derivações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de pequeno risco. As práticas adotadas para a definição da vazão ecológica em diversos estados brasileiros enquadram-se

dentro dos métodos hidrológicos. Vazão ecológica é a demanda de água necessária a manter num rio de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, aspectos da paisagem de outros de interesse científico ou cultural (BERNARDO, 1996, em J. GONDIM, 2006).

Em alguns estados do Brasil, a legislação relativa à outorga estabelece uma porcentagem da Q_{90} ou Q_{95} como referência para a concessão de outorga. Dentre as mais usadas está a vazão de referência Q_{90} , que é a vazão com 90% de permanência no leito do rio no ponto de análise (ALMEIDA NETO, 2007). Citando o exemplo do Decreto Estadual n. 6296/97 de regularização da outorga, para o Estado da Bahia, a vazão de referência é 80% da Q_{90} como limites máximos das derivações a serem outorgadas (GARRIDO, 2003) e a vazão ecológica (a vazão que deve permanecer no rio) indiretamente estabelecida é de 20% Q_{90} . No Ceará, a vazão de referência é 90% da Q_{90} e a vazão ecológica indiretamente estabelecida é de 10% Q_{90} (Decreto Estadual n. 23.067/94). No Paraná, a vazão de referência é 50% da Q_{95} e a vazão ecológica indiretamente estabelecida é de 50% Q_{95} (Decreto Estadual n. 4646/01). Em Sergipe, a outorga de direito de uso de recursos hídricos é regulamentada pelo Decreto n° 18456/99 que especifica o nível de garantia do volume outorgado para cada usuário de no mínimo 85% e no máximo 95%, mas não determina qual a vazão de referência outorgável que deve ser adotada

4.6. Simulação de cenários

Dentre as vantagens da utilização de modelos matemáticos, uma das mais importantes refere-se à elaboração de cenários, ou seja, à possibilidade de alterar as configurações dos parâmetros de entrada do modelo no intuito de gerar novos conjuntos de condições virtuais, as quais permitem, de antemão, a visualização das conseqüências geradas por um determinado grupo de fatores hipotéticos (MINOTI, 2006).

Os cenários são importantes ferramentas para o planejamento ambiental, eles combinam uma grande quantidade de conhecimento quantitativo e qualitativo, e transmitem os resultados de uma análise integral de forma transparente e compreensível. Ao mesmo tempo, a geração de cenários contribui para estimar como um futuro incerto pode reagir e como este pode ser influenciado pelas decisões feitas hoje (DÖLL et al., 1999). O objetivo da simulação de cenários não é caracterizar, de maneira completa, a eficiência das alternativas de manejo ou do uso da terra, mas exemplificar a aplicação das vantagens da utilização da

integração de modelos matemáticos e sistemas de informações geográficas (MACHADO, 2002).

GIRARDI (2001) construiu cenários históricos para avaliar impactos e indicar áreas potenciais para conservação em florestas de restingas situadas no município de Bertiooga-SP. A metodologia utilizada identificou, com precisão, áreas de restingas que sofreram impactos no passado além de apontar tendências no estado de conservação dessa vegetação.

SHIDA e PIVELLO (2001) realizaram a caracterização fisiográfica e de uso das terras da região de Luiz Antônio e Santa Rita do Passa Quatro, interior de São Paulo, utilizando sensoriamento remoto e SIG. As autoras delimitaram unidades homogêneas analisadas quanto à declividade, geomorfologia, pedologia e uso e ocupação das terras. Através de testes estatísticos e matrizes de contingência, foi possível concluir que a ocupação das terras foi influenciada especialmente pelo tipo de solo, em seguida pelo relevo e pela declividade.

GOMES (2002) utilizou como ferramenta a análise de paisagem, fundamentada na construção de cenários, para relacioná-los ao histórico e informações sócio-econômicas de assentamentos humanos no município de Parati-RJ. Um dos objetivos foi classificar os conflitos de uso existentes nas comunidades assentadas em áreas de preservação de Mata Atlântica pertencentes ao Parque Nacional da Serra da Bocaina, apontando para resolução desses conflitos. A autora relacionou os cenários encontrados com o histórico das comunidades e as informações sócio-econômicas, bem como classificou e interpretou as categorias de conflitos existentes. Verificou-se, neste estudo, uma mudança do padrão de uso da terra da década de 60; predominantemente agrícola, para a atualidade, nos três assentamentos, que é o aumento da vegetação, principalmente nas áreas retalhadas que, gradativamente, se transformam em chácaras de final de semana. Constatou-se, ainda, uma ocupação desordenada e progressiva nas margens dos rios, com trechos ocupados por grande número de edificações.

Através da construção de cenários sucessivos dos últimos 40 anos, SANTOS (2002) analisou as modificações da paisagem de uma área agrícola situada no oeste paulista. Através de operações com mapas em ambiente SIG, o autor verificou que a construção de usinas hidrelétricas provocou profundas transformações na região, principalmente em função da migração da mão-de-obra, do campo para a construção civil, além da geração de diversos outros impactos de natureza ambiental ou econômica.

HORA et al. (2004), descrevem as etapas da construção de cenários de sustentabilidade para a bacia do Riacho Cajueiro dos Veados, situada no município de

Malhador/SE, em duas épocas distintas, 1989 e 1998, contribuindo para o planejamento e o estabelecimento de alternativas de recuperação e/ou restauração da cobertura vegetal, em área de preservação permanente dos sistemas de produção agrícolas existentes.

Os trabalhos acima citados focalizam a evolução temporal e espacial do uso da terra e de seus recursos naturais, principalmente da cobertura vegetal. A compreensão da dinâmica evolutiva da paisagem é, portanto, um fator chave na tomada de decisões em processos de planejamento ambiental.

5. Materiais e Métodos

5.1. Descrição da sub-bacia hidrográfica

5.1.1. Localização

A sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras localiza-se na região sul do Estado de Sergipe, no município de Estância, entre as coordenadas geográficas 11°08' e 11°14' de latitude sul, e 37°26' e 37°29' de longitude oeste. O Riacho das Capivaras é importante contribuinte do Rio Piauí e está inserido na bacia hidrográfica de mesmo nome. Possui uma área de drenagem de 23,87 Km² e compreende os municípios sergipanos de Estância e Salgado.

5.1.2 Clima

Climatologicamente o regime pluviométrico da área em análise é do tipo marítimo pela classificação de Köppen. Definindo-se por um período seco de primavera a verão, representado pelos meses de Setembro a Fevereiro, e um período chuvoso de outono inverno, abrangendo os meses de março a agosto. Devido à influência inter-tropical da área, as temperaturas médias compensadas anuais oscilam entre 23,6°C e 26,9°C e umidade relativa média anual de 80,5% (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

5.1.3 Solo e uso atual

A área total da sub-bacia, na sua maioria, era ocupada pela Mata Atlântica em solos da classe dos Argissolos Vermelho Amarelo em associação com Argissolo Amarelo, nas áreas de relevo mais movimentado (declividade de 7 a 20%), Latossolos Amarelos coeso, com textura média-argilosa, localizados nos trechos de relevo suave ondulado (declividade de 3 a 8%) e Neossolos Flúvicos na margem do Riacho, em declives bem mais suaves (SEPLAN/SRH-SE, 2006). De acordo com as proposições de SARTORI (2004), o solo da bacia foi enquadrado como pertencente ao grupo hidrológico tipo 'C'.

Os solos predominantemente Argissolos Vermelho-Amarelo, são álicos, ou seja, ricos em alumínio, conseqüentemente de baixa fertilidade, profundos, com textura médio-argilosa e apresentando um horizonte coeso, típico das áreas dominadas por Sedimentos do Grupo Barreiras, os chamados Tabuleiros, que se apresentam na região costeira brasileira (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

Os Argissolos nesta área, também apresentam, nos trechos de relevo mais movimentado, características plínticas (declividade de 20-45%), presença de concreções ferruginosas, que colorem um pouco solos de vermelho (Figura 24a), e limitam também a ocupação com agricultura. Os solos com esse horizonte coeso apresentam problemas para uso com agricultura com espécies perenes e até mesmo com algumas espécies anuais, pois limitam o desenvolvimento do sistema radicular, uma vez que podem promover uma dificuldade de infiltração da água, conseqüentemente promovendo, em situações de relevo mais movimentado e solo desnudo, erosão em sulcos. Possivelmente, isto explica a expressiva ocupação das áreas da sub-bacia com as pastagens, que tem desenvolvimento radicular superficial e não são tão exigentes em termos de fertilidade do solo. (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

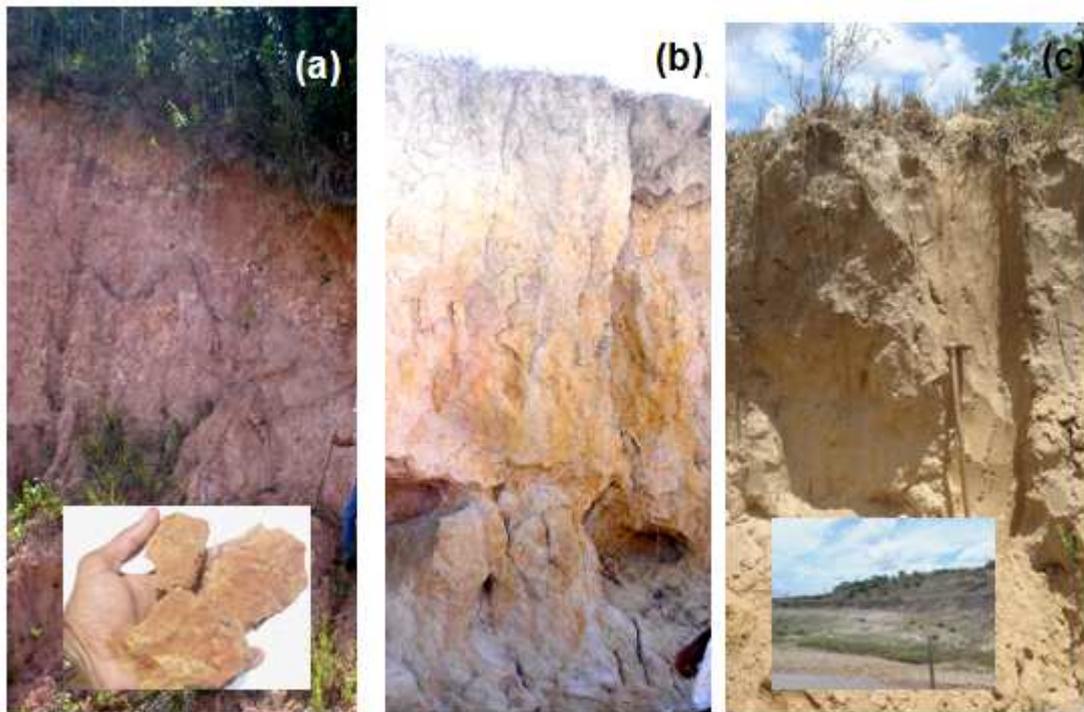


FIGURA 24. Tipos de solo existente na sub-bacia do Riacho das Capivaras (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

Os Latossolos Amarelos (Figura 24b) se apresentam mais associados aos Neossolos Flúvicos, e em margens de taludes mais altos, estão frequentemente sujeitos à erosão marginal. Como são solos com uniformidade textural, promovem o desmoronamento de grandes blocos, promovendo movimentos de massa que agravam a problemática do assoreamento do rio.

Os Neossolos Flúvicos, os antigos solos de aluvião, são resultantes da deposição de materiais mais grosseiros pelas enchentes, conseqüentemente bastante arenosos compondo as margens em trechos de relevo mais suave do Riacho, substrato que outrora sustentava a vegetação ciliar presente na área (Figura 24c). A sua composição granulométrica predominantemente dominada por partículas arenosas e de textura mais grosseira, exprimem uma condição de muito baixa coesão a esses solos, traduzida por uma grande vulnerabilidade aos movimentos de massa, que provocam desmoronamentos, quando não estão protegidos pela vegetação ciliar. Tais desmoronamentos também resultam em erosão e conseqüente assoreamento do rio.

A atividade agrícola predominante é a pastagem para criação extensiva de pequenos rebanhos. São 1.350,1ha (56,50% da área em estudo) distribuídos em pastagens implantadas há muitos anos, pastos sujos caracterizados por pastos com vegetação arbustiva ou árvores esparsas, ou áreas degradadas representadas por pastos degradados com exposição de solo. As

pastagens estão presentes em toda a extensão da sub-bacia e invadem até mesmo as áreas situadas à margem do Riacho das Capivaras, onde deveria estar protegida pela mata ciliar, que somente é identificada em pequenas franjas, sem grande expressão em termos de área.

Outra atividade exercida na sub-bacia em estudo é a agricultura praticada em pequenas áreas, com o cultivo de milho, feijão, mandioca e frutíferas. Esta prática agrícola é caracterizada como de subsistência e ocupa apenas 217,7 ha (9,11%) e assim como as pastagens, está dissociada de práticas conservacionistas e baixo rendimento produtivo. Também compõe a paisagem da sub-bacia, remanescentes de mata atlântica em diferentes estágios de antropização e/ou sucessão ecológica. São 80,9 ha de mata atlântica (3,39%) e 624,5 ha (26,14%) de mata atlântica em diferentes estágios de regeneração denominada capoeira grossa e capoeira fina, distribuída em área não necessariamente de preservação permanente. Os solos expostos, ora considerados como área degradada, ocupam 74,4 ha (3,11%) e as construções e benfeitorias, 41,8 ha (1,75%). A Figura 25, a seguir, traz o uso e ocupação do solo da sub-bacia do Riacho das Capivaras.

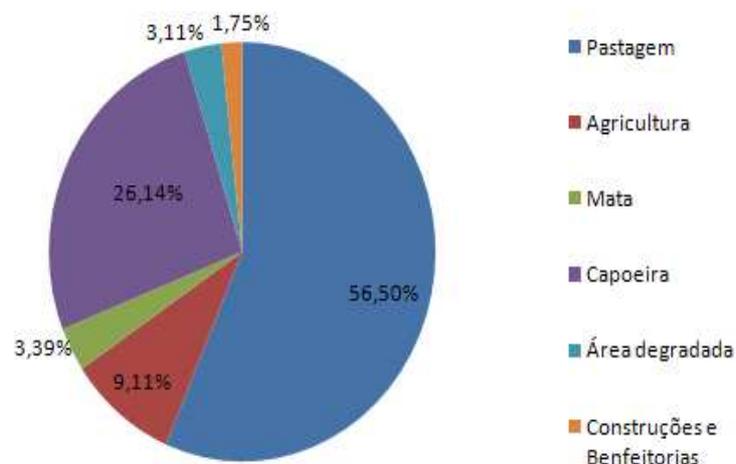


FIGURA 25. Uso e Ocupação do solo da sub-bacia do Riacho das Capivaras em percentuais (SEPLAN/SRH-SE, 2006).

5.1.4 Caracterização hidrológica

A sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras apresenta uma área de 23,87 km², com perímetro de 28,5 km, com declividade média é de 17,9%. O curso d'água principal apresenta comprimento de 13,6 km, a densidade de drenagem é de 4,25 km/ km² e o valor da densidade dos cursos d'água é 10,26. Os valores do coeficiente de compacidade, do fator de

forma e do índice de circularidade são 1,64; 0,21 e 0,37, respectivamente. De acordo com estes dados, pode-se afirmar que a sub-bacia apresenta forma alongada, mostrando-se pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação.

5.2 Método do SCS

Para estimativa do escoamento superficial da água da chuva, será utilizado o método do SCS (1972) que usa a seguinte equação:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \quad (12)$$

em que

P: chuva total (mm);

Ia: são as perdas iniciais (interceptação e armazenamento na superfície) e representam 20% da infiltração máxima (0,2S);

S: infiltração potencial máxima (mm);

Q: chuva excedente (mm).

A Equação (12) representa a relação chuva-escoamento superficial, quando a precipitação (P) é maior que 0,2S. Se a precipitação for menor ou igual que 0,2S, o escoamento superficial estimado será zero.

Dada as dificuldades encontradas para se determinar o potencial máximo de retenção, o SCS (1972), adotou um índice denominado número da curva de escoamento, representado por *CN*, obtido em função da cobertura do solo pela vegetação, tipo de preparo e classe hidrológica de solo, e utilizou uma expressão empírica e adimensional que relaciona *CN* ao parâmetro S, a qual, quando P e Q são expressos em milímetros, é dada por:

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (13)$$

Quando a condição de umidade antecedente do solo é diferente da condição intermediária (AMC II), o valor de *CN* pode ser convertido para as condições AMC I ou AMC III, utilizando as relações apresentadas em tabela do próprio método.

5.3 Cenários

Visando avaliar os impactos, no escoamento superficial da sub-bacia hidrográfica do Riacho das Capivaras, inerentes aos diferentes tipos de uso de solo e manejo dos agroecossistemas, sob diferentes condições de uso e ocupação das terras, definiram-se quatro cenários de ocupação da bacia, conforme apresentados a seguir:

→ Cenário 1 (C_1): Uso e ocupação das terras referente ao ano de 2004, ora considerado 'cenário base', obtido a partir de memorial descritivo (relatório e shapes) elaborado pela Secretaria de Recursos Hídricos de Sergipe em 2006. Este cenário possui 99,7ha de pastagens degradadas, 1250,4ha de pastagem nativa, 624,5ha de capoeira, 217,7ha de culturas anuais sem resíduos culturais, 74,4ha de áreas degradadas (solos expostos), 80,9ha de mata e 41,8ha de construções e estradas. Na Tabela 2 consta o uso e ocupação do solo do C_1, com respectivo *CN* e infiltração potencial máxima, de acordo com tabela do *CN* adaptada por SARTORI (2004).

TABELA 2. Uso e ocupação do solo para o Cenário 1.

Uso e Ocupação	Área (ha)	<i>CN</i> (Ia=0,2S, Umidade II)
Pasto Sujo (Degradada)	99,7	86
Pastagem (Nativa)	1250,4	79
Capoeira	624,5	65
Culturas Anuais (N + SRC)	217,7	89
Área degradada (solo exposto)	74,4	91
Mata (vegetação natural)	80,9	49
Construções e estradas	41,8	82
TOTAL	2389,4	<i>CN</i> Ponderado = 75,9
Infiltração potencial máxima	-	80,65 mm

→ Cenário 2 (C_2): Cenário no qual o uso e ocupação das terras atual, atendem às determinações do Código Florestal Brasileiro, (Lei nº 4.771, de 15/09/65, alterada pela Lei nº

7.803, de 8/08/93) em que todas as áreas de preservação permanente dos recursos hídricos (APP) foram preservadas e os percentuais de reserva legal, respeitados. A área considerada de preservação permanente na sub-bacia do Riacho das Capivaras abrange 692,90 ha e apenas 93,39 ha, desta, estão ocupados com mata e capoeira. Ainda pelo Código, 339,3 ha deverão compor a área de Reserva Legal (20%). Na Tabela 3 consta o uso e ocupação do solo deste cenário, com respectivo CN infiltração potencial máxima.

TABELA 3. Uso e ocupação do solo para o Cenário 2.

Uso e Ocupação	Área (ha)	CN (Ia=0,2S, Umidade II)
Pasto Sujo (Degradada)	-	-
Pastagem (Nativa)	1191,09	79
Capoeira	233,41	65
Culturas Anuais (N + SRC)	217,7	89
Área degradada (solo exposto)	-	-
Mata (vegetação natural)	705,4	49
Construções e estradas	41,8	82
TOTAL	2389,40	CN Ponderado = 69,7
Infiltração Potencial Máxima (S)	-	110,42 mm

Para esta conformação, buscou-se não modificar a estrutura produtiva da bacia, uma vez que, as áreas de Reserva Florestal e de Preservação Permanente não podem ser utilizadas para fins econômicos, salvo os casos previstos em lei. O uso projetado do solo para o Cenário 2, teve por base o Cenário 1, onde: a área de capoeira regenerou-se, complementando a área de vegetação natural, 705,4 ha (80,9 ha + 624,5 ha); as áreas de pastagens degradadas e solos expostos recuperadas ao nível de capoeira, 174,1 ha (99,7 ha + 74,4 ha); e 59,31 ha de pastagem nativa evoluíram para a categoria capoeira. Desta forma, foi possível alcançar os 938,81 ha considerados como área de preservação permanente e de reserva legal.

→ Cenário 3 (C_3): O uso projetado do solo para o C_3, baseou-se na conformação do Cenário 1, diferindo pela prática de manejo de solo e utilização de tratamentos culturais, no qual as pastagens nativas e degradadas passaram a ser melhoradas (correção de acidez e fertilização, plantio de gramíneas adaptadas e manejo dos animais), totalizando 1350,1 ha, e o cultivo de culturas anuais prevê o plantio em nível e resíduos culturais nas superfícies com a mesma

área cultivada (217,7 ha). Como se trata de uma bacia ocupada predominantemente por minifúndios responsáveis pela manutenção do agricultor familiar, respeitar o Código Florestal pode comprometer a subsistência familiar. Recentemente, os percentuais de Reserva Legal e APPs, definidos em Código Florestal têm sido alvo de discussões polêmicas. Projetos de leis tramitam na Câmara dos Deputados propondo desde a mudança no cômputo das áreas de reserva legal como, até mesmo, a redução do percentual a ser respeitado. Exemplos deles são o: PL 3225/08 que altera o cômputo das áreas de preservação permanente (APPs) no cálculo da reserva legal em propriedades rurais; PL 0238.0/2008 que propõe a redução de 30 para 5 metros a área de matas ciliares situadas às margens dos cursos d'água no Estado de Santa Catarina; PL 4519/08 que visa a redução de 80% para 35% nas áreas de reserva legal dentro da Amazônia; e a Redução de 80 para 50% da área de reserva legal às margens das rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-230 (Transamazônica). Desta forma, no C_3, são respeitadas apenas as áreas de preservação permanente. A área de capoeira passou a ocupar 86,9 ha, e aos 80,9 ha de mata foram acrescentados 537,6 ha provenientes de Capoeira e 74,4 ha provenientes de da área degradada, totalizando 692,9 ha.

TABELA 4. Uso e ocupação do solo para o Cenário 3.

Uso e Ocupação	Área (ha)	CN (Ia=0,2S, Umidade II)
Pasto Sujo (Degradada)	-	-
Pastagem (melhorada)	1350,1	74
Capoeira	86,9	65
Culturas Anuais (N + RCS)	217,7	77
Área degradada (solo exposto)	-	-
Mata (vegetação natural)	692,9	49
Construções e estradas	41,8	82
TOTAL	2389,40	CN Ponderado = 66,8
Infiltração Potencial Máxima (S)	-	126,07 mm

→ Cenário 4 (C_4): Dada à necessidade imediata de geração de receitas para a manutenção familiar, à falta de educação ambiental e à ausência de orientação técnica, este cenário foi definido a partir de visão pessimista de futuro em relação à sustentabilidade dos agroecossistemas. Neste cenário (Tabela 5), os remanescentes de mata do Cenário 1 (80,9 ha) deram espaço às culturas anuais sem o devido manejo, que somados aos 217,7 ha existentes

totalizaram 298,6 ha. As pastagens nativas tornaram-se degradadas. As pastagens degradadas do Cenário 1 (99,7 ha) tornaram-se áreas degradadas (solos exposto) totalizando 174,1 ha. A capoeira tornou-se pastagem nativa com uma área de 624,5 ha.

TABELA 5. Uso e ocupação do solo para o Cenário 4.

Uso e Ocupação	Área (ha)	CN (Ia=0,2S, Umidade II)
Pasto Sujo (Degradada)	1250,4	86
Pastagem (Nativa)	624,5	79
Capoeira	-	-
Culturas Anuais (N + SRC)	298,6	89
Área degradada (solo exposto)	174,1	91
Mata (vegetação natural)	-	-
Construções e estradas	41,8	82
TOTAL	2389,4	CN Ponderado = 84,84
Infiltração Potencial Máxima (S)	-	45,38 mm

O escoamento superficial gerado a partir de cada cenários foi simulado no MSCS e em seguida construiu-se a curva de permanência de vazão que servirá como medida de comparação entre usos alternativos, de modo que se proceda à avaliação entre situações concretas e potenciais diversas.

6. Resultados e Discussão

Este trabalho apresenta uma análise simplificada de alguns cenários comparativos de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Riacho das Capivaras. A análise está baseada nos resultados de simulação com um modelo hidrológico e construção da curva de permanência de vazões. Foram definidos quatro cenários: o C_1, considerado ‘cenário base’, é o de uso e ocupação das terras referente ao ano de 2004; o C_2 em que o uso e ocupação das terras atendem às determinações do Código Florestal, no qual está prevista a manutenção das áreas de reserva legal e das áreas de preservação permanente; o C_3 em que o uso e ocupação das terras prevê práticas conservacionistas nas atividades agrícolas e a manutenção apenas da área de preservação permanente prevista em Código Florestal; e o C_4 em que não são realizadas práticas de manejo conservacionistas nas atividades agrícolas, tampouco é cumprido o

disposto em Código Florestal (Tabela 6). Na Tabela 7, tem-se o uso e ocupação do solo expresso em percentual para cada cenário.

TABELA 6. Uso e ocupação do solo para os quatro cenários simulados.

Uso e Ocupação (ha)	C_1	C_2	C_3	C_4
Pasto Sujo (Degradada)	99,7	-	-	1250,4
Pastagem (Nativa)	1250,4	1191,09	1350,1	624,5
Capoeira	624,5	233,41	86,9	-
Culturas Anuais (N + SRC)	217,7	217,7	-	298,6
Culturas Anuais (N + RCS)	-	-	217,7	-
Área degradada	74,4	-	-	174,1
Mata (vegetação natural)	80,9	705,4	692,9	-
Construções e estradas	41,8	41,8	41,8	41,8
Área Total (ha)	2389,4			

TABELA 7. Uso e ocupação do solo para os quatro cenários simulados em percentuais da área total.

Uso e Ocupação (%)	C_1	C_2	C_3	C_4
Pasto Sujo (Degradada)	4,2	-	-	52,32
Pastagem (Nativa)	52,3	49,84	56,5	26,13
Capoeira	26,14	9,8	3,64	-
Culturas Anuais (N + SRC)	9,11	9,11	-	12,5
Culturas Anuais (N + RCS)	-	-	9,11	-
Área degradada	3,11	-	-	7,3
Mata (vegetação natural)	3,39	29,5	29	-
Construções e estradas	1,75	1,75	1,75	1,75
Área Total	100			

As diferenças entre os quatro cenários foram analisadas comparando-se os valores de *CN*, infiltração potencial máxima e as vazões mínimas (Q_{90}), máximas (Q_5) e médias (Q_{50}). Utilizando o Método do SCS foram estimados o *CN* e a infiltração potencial máxima. As vazões mínimas (Q_{90}), máximas (Q_5) e médias (Q_{50}), foram determinar através da curva de permanência, construída a partir de dados de precipitação diária, transformados de mm/dia

para $l.s^{-1}$, fundamentada nos registros hidrológicos e escoamento superficial obtido pelo MSCS. Na Tabela 8, constam os indicadores de avaliação de cada cenário simulado.

TABELA 8. Indicadores de avaliação de cada cenário simulado.

INDICADORES	C_1	C_2	C_3	C_4
CN Ponderado	75,9	69,7	66,8	84,8
S: Infiltração Potencial Máx (mm)	80,65	110,42	126,07	45,38
(Q ₉₀): Vazão mínima ($l.s^{-1}$)	0,048	0,047	0,043	0,052
(Q ₅₀): Vazão média ($l.s^{-1}$)	0,758	0,728	0,701	0,836
(Q ₅): Vazão máxima ($l.s^{-1}$)	7,603	7,246	7,103	8,642

O parâmetro *CN* retrata as condições de cobertura e solo, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior, valor = 0) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior, valor = 100). Os valores de *CN*, obtidos pelo MSCS para os cenários construídos, representam bem esta relação. Pode-se verificar que os menores valores para o *CN* estão associados aos maiores valores de infiltração e conseqüentemente, menores valores de escoamento superficial (vazões).

No C₄, marcado pela gestão inadequada do uso e ocupação da terra, o *CN* foi de 84,84, valor próximo ao limite superior, onde praticamente todo volume precipitado é escoado e a infiltração máxima potencial foi a menor dos três cenários (45,38 mm). Isso porque, em solos desprotegidos há formação de selo superficial que reduz a infiltração de água. O *CN* do C₁ (75,9) possui valor próximo ao do C₄, indicando que esta realidade é facilmente conquistada caso não se revejam os sistemas produtivos ali implantados. O *CN* do C₂ e do C₃ possuem valores bem próximos (69,7 e 66,8 respectivamente) e são mais baixos que os apresentados no C₁ e no C₄. No entanto, o C₃ apresenta um *CN* ainda menor (66,8) e um maior volume infiltrado (126,07 mm) mostrando que o arranjo sustentável dos agroecossistemas aliado à manutenção apenas da área de preservação permanente prevista em Código Florestal se constitui numa boa alternativa de manejo da bacia. Uma vez que, a manutenção das áreas de reserva legal implica em redução das áreas produtivas e demanda custos para demarcação da área (projeto) e registro cartorário. Uma característica importante a ser considerada nos agroecossistemas é a produção de água além da produção de alimentos. A análise dos cenários indicou que, para a produção de água, o manejo e as práticas

conservacionistas empregados nos sistemas produtivos são mais importantes que a manutenção da cobertura vegetal.

Isso não quer dizer que a reserva legal não tenha sua importância. De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente, essa reserva (de floresta ou outra formação vegetal) é necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção da fauna e flora nativas. As discussões sobre as alterações nos percentuais de Reserva Legal definidos no Código Florestal, que atualmente tramitam no Congresso Nacional, são baseadas essencialmente em critérios econômicos e poucos argumentos biológicos têm sido levantados. A decisão sobre as alterações do Código Florestal depende de parâmetros biológicos, econômicos, sociais e políticos. Porém, as implicações biológicas de qualquer alteração nos instrumentos legais são fundamentais para embasá-la.

Os valores de *CN*, bem como a importância do uso e ocupação do solo na produção de escoamento superficial, encontrados e constatados neste trabalho estão compatíveis com a realidade que outros autores avaliaram. AQUINO et al. (2008), ao estimar o escoamento superficial em sub-bacia do semi-árido brasileiro, também encontraram maiores valores de *CN* nas regiões com pouca cobertura vegetal. Sendo nestas áreas onde se pratica uma atividade agrícola mais intensa sem alguma prática conservacionista de uso e manejo do solo.

PICKBRENNER et al. (2005), ao determinar o *CN* utilizando o geoprocessamento em simulação hidrológica na Bacia do Rio Criciúma, encontraram os maiores valores em áreas mais urbanizadas, onde os percentuais de impermeabilização apresentam-se bastante altos, associados às condições de solos com capacidade de infiltração abaixo da média. As regiões de matas e campos também aparecem como bons indicadores de áreas onde ocorre menor escoamento superficial (menor *CN*).

RUHOFF (2004), ao realizar a modelagem ambiental com a simulação de cenários, observou que as maiores perdas de água ocorreram principalmente nas sub-bacias que apresentam as maiores taxas de ocupação agrícola, e que conseqüentemente possuem as menores áreas percentuais de cobertura florestal. Já os processos erosivos que ocorrem com o escoamento superficial e sub-superficial da água, não se relacionam diretamente com a cobertura florestal, mas principalmente com as práticas conservacionistas (não) adotadas nas lavouras agrícolas.

Os modelos hidrológicos analisam, em parte, o aspecto ambiental, eles presumem que a manutenção de uma vazão de referência, calculada com base estatística da série histórica,

possa acarretar em benefício ao ecossistema. A principal vantagem destes métodos está na pequena quantidade de informações necessárias para sua implementação, em geral apenas a série histórica de vazões.

Com o objetivo de se conhecer a amplitude de variação das vazões produzidas a partir das modificações no uso e ocupação do solo e, principalmente, a frequência com que cada valor de vazão ocorre em determinado curso d'água, foi determinada a curva de permanência para cada cenário. As quatro curvas resultantes estão apresentadas nas Figuras 26, 27, 28 e 29.

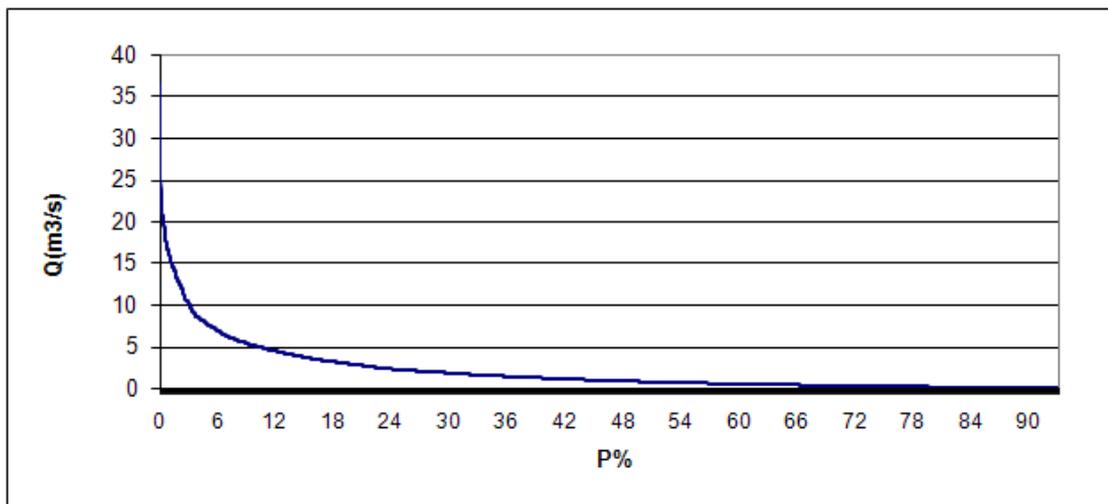


FIGURA 26: Curva de permanência de vazão para o Cenário 1.

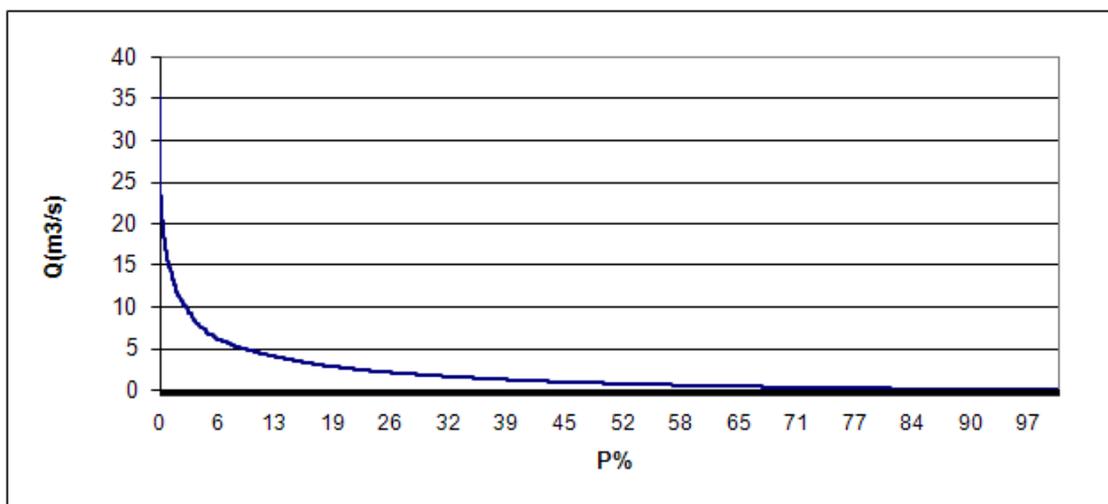


FIGURA 27: Curva de permanência de vazão para o Cenário 2.

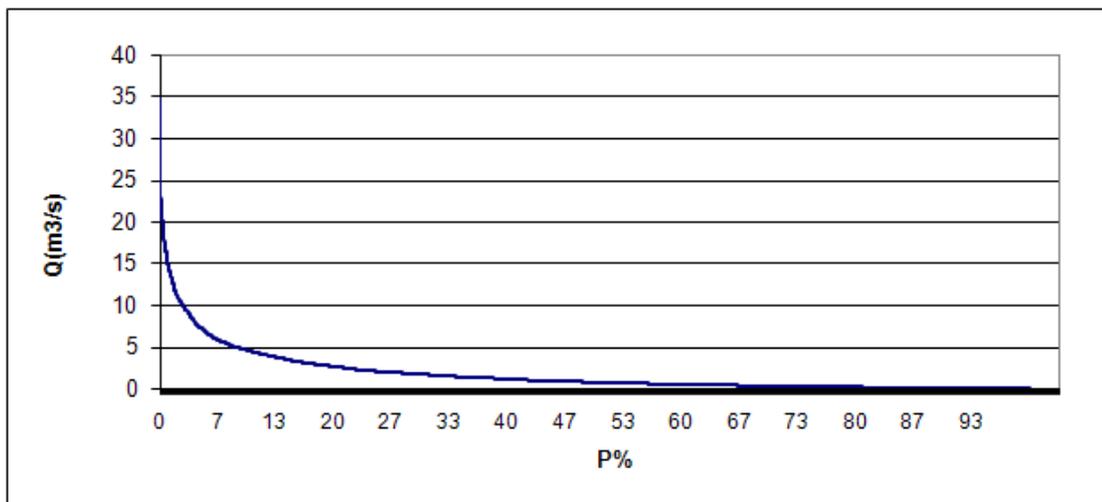


FIGURA 28: Curva de permanência de vazão para o Cenário 3.

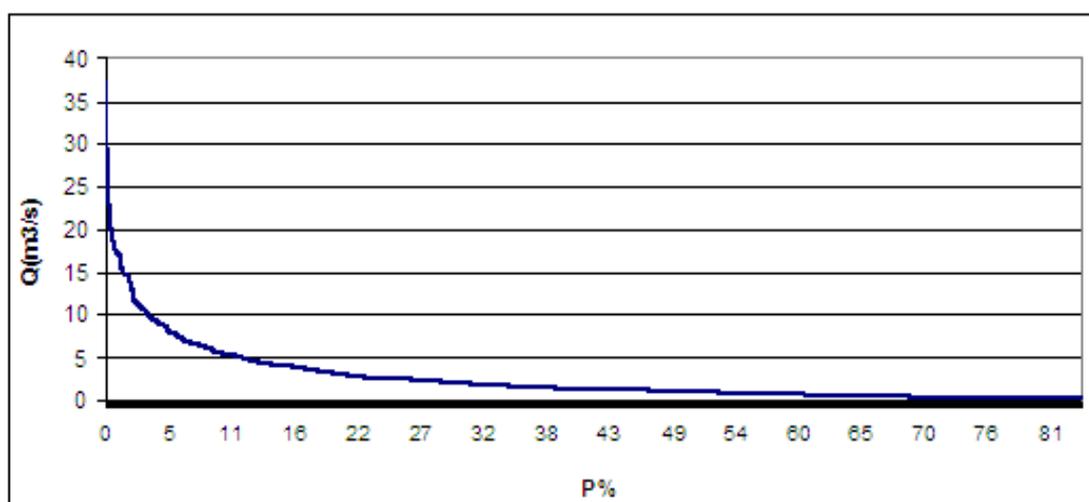


FIGURA 29: Curva de permanência de vazão para o Cenário 4.

A curva de permanência indica a porcentagem de tempo em que determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante o período de observações. Ela permite visualizar, de imediato, a potencialidade natural do curso d'água, destacando-se a vazão mínima e o grau de permanência para qualquer valor da vazão (TUCCI, 2002).

Os resultados da simulação dos Cenários 1, 2, 3 e 4, mostrado na Tabela 9 foram semelhantes, para todas as vazões mínimas (Q_{90}) das curvas de permanência analisadas. A Q_{95} está associada aos períodos de grandes estiagens, é a menor vazão que um rio garante em 95% do tempo, o C_2 é o que apresenta maior Q_{95} ($0,201 \text{ l.s}^{-1}$), ou seja, aumenta a disponibilidade hídrica da área. A Q_{50} significa que 50% dos valores estão abaixo ou acima deste valor, mas geralmente é menor que a vazão média. As vazões máximas (Q_5) variaram de $7,1029 \text{ l.s}^{-1}$ a

8,642 l.s⁻¹ e estão associadas a vazões de cheia, o C_4 é mais vulnerável a estas vazões, uma vez que, seus solos estão desprotegidos e o volume de escoamento é maior, desta forma os processos erosivos decorrentes desta combinação são mais severos.

TABELA 9: Vazões de referência para os cenários simulados

INDICADORES	C_1	C_2	C_3	C_4
(Q ₉₅): Vazão mínima (l.s ⁻¹)	0,0188	0,0201	0,0190	0,0195
(Q ₉₀): Vazão mínima (l.s ⁻¹)	0,0486	0,0467	0,0427	0,0519
(Q ₅₀): Vazão média (l.s ⁻¹)	0,7578	0,7276	0,7009	0,8355
(Q ₅): Vazão máxima (l.s ⁻¹)	7,6026	7,2463	7,1029	8,6420

7. Conclusões

O desenvolvimento de metodologias para a simulação do escoamento superficial gerado por uma chuva é essencial para avaliações dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. O método do SCS, neste trabalho, mostrou-se uma metodologia adequada e confiável para simulação dos processos hidrológicos ocorridos na sub-bacia do Riacho das Capivaras/SE. Através da comparação e avaliação dos cenários simulados, foi possível prever os reflexos das decisões tomadas a cerca do uso e ocupação. Os Cenários 2 e 3 mostraram-se mais indicados para conter os processos de degradação ambiental, visto que a manutenção das áreas de reserva legal e de preservação permanente aumentou o volume de água infiltrado, reduziu o escoamento superficial e apresentou maior vazão de referência mínima (Q₉₅), o que, sob o aspecto de produção de água, é mais interessante pois proporciona o aumento da disponibilidade hídrica na bacia.

Diante do estágio de degradação ambiental encontrado na sub-bacia do Riacho das Capivaras, o Cenário 3 é particularmente o mais indicado para do ponto de vista de produção de água das propriedades agrícolas. Este cenário mostra que práticas conservacionistas nas atividades agrícolas, aliadas a manutenção das áreas de preservação permanente, se constituem numa boa alternativa de uso sustentável dos agroecossistemas.

Quanto ao método utilizado para avaliação do escoamento superficial, o MSCS, este constituiu-se uma boa ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental pois, trata-se de uma metodologia simples, que pode ser utilizada, principalmente, em áreas que tenham poucos dados disponíveis – neste estudo, as informações foram geradas a partir da precipitação diária.

Não há limitação de número de cenários no qual a metodologia possa ser aplicada, desde que os indicadores de avaliação sejam bem definidos pelos planejadores. E, embora o MSCS superestime valores de escoamento (como afirmado por alguns autores) foi possível verificar que a capacidade de retenção de água no solo é inversamente proporcional ao escoamento e está diretamente associada ao fator manejo e cobertura do mesmo. O método também proporcionou a geração de dados de vazão que serviram de base para a construção da curva de permanência de vazões da área em estudo, por conseguinte, a obtenção dos valores de vazões de referência. Desta forma, o MSCS constitui-se em uma importante ferramenta de auxílio ao planejamento ambiental e pode ser extrapolado para outras bacias hidrográficas do Estado de Sergipe.

8. Referência Bibliográfica

AGUIAR, L. S. G.; TARGA, M. dos S.; BATISTA, G. T. Escoamento Superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v.2, n.1, p. 44-56, 2007.

ALMEIDA NETO, P. de **Hidrogramas experimentais de áreas alagadas da micro bacia do Rio Jacupiranga, Baixo Ribeira do Iguape, SP**. 2007. 174f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Paulo, USP. 2007.

AQUINO, D. do N.; TEIXEIRA, A. dos S.; ANDRADE, E. M. de; LOPES, F. B.; OLIVEIRA, A. D. S. de. Estimativa do escoamento superficial em micro-bacia do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG. **Revista Tecnológica**, Fortaleza, v.29, n.1, p. 37 -45. 2008.

BARRETO NETO, A. A.; FILHO, C. R. de S.; Modelagem dinâmica de escoamento superficial. In: XI SBSR, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, p. 2427 – 2434, 2003.

BARRETO NETO, A. A. **Modelagem dinâmica de Processos Ambientais**. 2004. 137f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto Agrônomo de Geociências. Campinas, 2004.

BELDRING, S. (2002) Multi-criteria validation of a precipitation-runoff model. **Journal of Hydrology**, 257: 189 – 211.

BORGES, M. J.; PISSARA, T. C. T.; VALERI, S. V.; OKUMURA, E. M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.69, p.93-103, 2005.

BRAGA, J. C. **Modelo hidrológico de parâmetros distribuídos para obtenção do hidrograma de escoamento superficial**. 2000. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2000.

BRAGAGNOLO, N. **Solo: uma experiência em manejo e conservação**. Editora do autor, Curitiba, 1997. 102p.

CAMARA, A. C. F. C. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB)**. 2003. 219f. Dissertação (Mestrado) - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

CASTELLARIN, A. et al. Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins. **Advances in Water Resources**, v. 27, p. 953-965. 2004.

COGO, N. P. et al. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743 – 753, 2003.

CORBI, J. J. **Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo da cana-de-açúcar em áreas adjacentes**. 2006. 92f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

CÓRDOVA, R.N. et al. Regionalização da curva de permanência como base para o gerenciamento da Bacia do Itajaí. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** ABES. Porto Alegre. p.1-7. 2000.

CRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1999, 236p.

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba – MG**. 2003. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2003.

CRUZ, J.C., **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 199f. Tese (Doutorado em engenharia). UFRGS. Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. . Estimativa da Disponibilidade Hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 111-124, 2008.

DI BELLO, R. C. **Análise do comportamento da umidade do solo no modelo chuva-vazão SMAP II – Versão com suavização hiperbólica. Estudo de Caso: Região de Barreiras na Bacia do Rio Grande – BA.** 2005. 242p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, (COPPE), Rio de Janeiro, RJ, 2005.

DÖLL, P.; MAIKE H., E. M.; Fuhr, D. **Scenario development as a tool for integrate analysis and regional planning.** Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany. 1999. Disponível em www.usf.uni-kassel.de/waves/szennarien consultado em 19/01/2009.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol.25, n.1.,2005.

EUCLYDES, H. P. et. al. Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e de curva de permanência para a bacia do Rio São Francisco. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas.** Viçosa, MG: UFV/RURALMINAS, 2001. P. 1-124 (Boletim técnico, n.5).

FAUSTINO, J. **Planificación y Gestión de Manejo de Cuencas.** Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FERREIRA, L. **Simulação hidrológica um utilizando o modelo TOPMODEL em Bacias Rurais, estudo de caso na Bacia Ribeirão dos Marins – seção Monjolinho – SP.** 2004. 229p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2004.

FERREIRA, D. S.; RIBEIRO, C. A. D.; CECILIO, R. A.; XAVIER, A. C. Estimativa do escoamento superficial na bacia do Córrego João Pedro através de técnicas de geoprocessamento. In: I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 2003, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007, p. 163-169.

GARCIA, A.V. et al. Disponibilidade Hídrica e volume de água outorgado na micro-bacia do Ribeirão Abóbora, Município de Rio Verde, Estado de Goiás. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia. v. 8, n. 22, p. 97-106, 2007.

GARCIA, G. J.; GAMERO, H. G., GARCIA, L. B. R., VETTORAZZI, C.A., KRÖNERT, R.; VOLK, M.; LAUCH, A.; MEYER, B. Impacto do uso da terra na erosão solo e no balanço e qualidade de água na bacia do Rio Corumbataí-SP. **Holos Environment**, v.6 n .2, – P.118, 2006.

GARRIDO, R. J. S. Subprojeto 4.2B – Avaliação dos mecanismos financeiros para gerenciamento sustentável da bacia do Rio São Francisco. In: -. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. **Relatório Final**. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 335p.

GIRARDI, A. C. S. **Subsídios metodológicos para o planejamento e gestão de restingas. Estudo de caso – Bertiooga-SP**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia Ambiental) – PROCAM, USP, São Paulo, 2001.

GOLDENFUM, J.A.; TUCCI, C.E.M. **Hidrologia de águas superficiais**. Brasília, SF:ABEAS; Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1996, 128p.

GOMES, L. J. **Conflitos entre a conservação e o uso da terra em comunidades rurais no entorno do PNSB: uma análise interpretativa**. 157p. Tese Doutorado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 2002.

GOUDIE, A. **The Human Impact on the natural environment**. 4th ed. Oxford. UK: Blackwell. 1995. 454p.

GROSSI, C. H. **Sistema de informação geográfica – Basins 3.0 na modelagem hidrológica da Bacia experimental do Rio Pardo - SP**. 2003. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP), Botucatu, 2003.

HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D. M.; PETTS, G. E. Classification of river regimes: a context for hydroecology. In: John Wiley & Sons, Hardcover: **Hydrological Processes**. v.14, p.2831-2848, 2000.

HEIN, M. **Espacialização de duas microbacias hidrográficas do Rio Piracicaba para modelagem hidrológica.** 2000.0307p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

HOLMES, M. G. R. et al. A region of influence approach to predicting flow duration curves within ungauged catchments. **Hydrology and Earth System Sciences.** v. 3, n. 4, p. 721-731, 2002.

HORA, F. M. D. da; FONSECA, E. L. da; GOMES, L. J.; FERREIRA, R. A.; FREIRE, A. da C. Metodologia para a construção de cenários da bacia do riacho Cajueiro dos Veados – Malhador/SE. In. II Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. **Anais...** Aracaju, 2004.

HUANG, C.; GASCUEL_ODOUX, C.; CROS-CAYOT, S. (2001) Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion. *Catena*, (46): 177-188.

J. GONDIM, 2006. **Apresentação** na 51ª. Reunião da CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos dos CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

JENKIS, S. K.; PETERS, N.E.; RODHE, A. Hydrology. In: MOLDAN, B. CERNY, J. Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research. Chichester: John Wiley, 1994. Cap. 2, p. 31- 54.

KOBIYAMA, M. Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos. In: Curso de manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal. **Apostila**, Curitiba: FUPEF, 1999. P.29-31.

LINSLEY Jr., R.K., KOHLER, M.A., PAULHUS, J.L.H. **Hydrology for engineers.** New York: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1975.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLONI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. **Simpósio** sobre terraceamento agrícola. Campinas, 1989. Fundação Cargill. p.99-124.

MACHADO, E. M. de. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. 154f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2002.

MARCELLINI, S. S. **Análise de critérios para a determinação de tormentas de projeto e sua influência nos hidrogramas de pequenas bacias de drenagem.** 1994. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MELLO, C. R. de. **Estudo hidrológico em micro-bacia hidrográfica com regime de escoamento efêmero.** 2003. 133p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

MINOTI, R. T. **Abordagens qualitativa e quantitativa de micro-bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do médio Mogi-Superior/SP.** 2006. 247f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2006.

MOHID – **User Manual of MOHID Graphical User Interface** . Disponível em www.mohid.com., acessado em 29 mar.2007.

MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros.** 2005. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidrológica) - Universidade Federal do Paraná, PR, 2005.

MOHAMOUD, Y.M., EWING, L.K., BOAST, C.W. **Small plot hydrology: I. Rainfall infiltration and depression storage determination.** Transactions of the ASAE, 1990, 33 (4):1121-1131.

MOLDAN, B.; CERNY, J., Ed. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research.** London: John Wilwy, 1994. 418p.

MOTA, J. L. O. Modelos Matemáticos y su Aplicación al Manejo de Cuencas Hidrográficas. In: Congresso Nacional de Irrigación, Culiacán, Sinaloa. **Anais...** México, 1999. Disponível em www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=9937_201&ID2=DO_TOPIC>. Consultado em 5 dez 2007.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte, MG: CPRM, 2007. 561 p.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS J.R. 2002. **Soil and Water Assessment Tool User's Manual: Version 2000**. GSWRL Report 02-03, BRC Report 02-07, Texas Water Resources Institute TR-193, College Station, TX.

NEVES, R. J. J. (1985) - **Étude Experimentale et Modélisation des Circulations Transitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado**. Ph. D. Thesis, Univ. Liège

OLIVEIRA, C. de P. M.; MÉLLO JÚNIOR, A. V.; MARCELLINI, S. S.; PORTO, R. L. L. . Sistema De Apoio Para Determinação De Vazões De Projeto Em Bacias Complexas Com Base Em Precipitações Máximas. **Anais** da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 2006.

PERES, R. B.; MEDIONDO, E. M. **Desenvolvimento de cenários de recuperação como instrumento ao planejamento ambiental e urbano – bases conceituais e experiências práticas** In. Seminário NEUR/CEAM, 2004, Brasília, DF A Questão Ambiental e Urbana: Experiências e Perspectivas, Brasília NEUR/CEAM, UnB, 2004. www.shs.eesc.usp.br/pessoal/docentes/technotes%5C31%5CPeres-Mendiondo-2004-NEUR-CEAM-Artigo1.pdf 25 out 2007.

PERRY, C.A., Wolock, D.M., and Artman, J.C., 2004, Estimates of flow duration, mean flow, and peak-discharge frequency values for Kansas stream locations: **U.S. Geological Survey Scientific Investigations**. Report 2004–5033, 651 p.

PIRES, J. S. R. e SANTOS, J. E. Bacias Hidrográficas – Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Revista Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, v.19, n.110, p. 40 – 45, 1995.

PICKBRENNER, K; PEDROLLO, M. C.; RISSO, A. Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. **Anais...** João Pessoa, 2005.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff Curve Number: Has it reached maturity? **Journal of hydrologic Engineering**. v.1, n.1, p. 11- 19, 1996.

PRADO, T. B. G. **Evolução do uso das terras e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jundiá Mirim**. 2005. 72f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-tropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.

PRUSKI, F.F. et.al. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003. 88p.

PULLAR, D.; SPRINGER. D. Towards integrating GIS and cartchment models. **Environmental Modelling & Software**, 15, p.451-459, 2000.

RANZINI, M. **Balanco hídrico, ciclagem geoquímica de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com Eucalyptus saligna Smith, no vale do Paraíba, SP**. 1990. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - ESALQ, Piracicaba, 1990.

RAUHOFER, J.; JARRET, A. R.; SHANNON, R. D. (2001) **Effectiveness of sedimentation basins that do not totally impound a runoff event**. Transations of th ASAE, 44 (4): 813-818.

RAWLS, W. J.; GOLDMAN, D.; VAN MULLEN, J. A.; WARD, T. J.; AHUJA, L. R.; AKAN, A. O.; BRAKENSIEK, D. L.; DEBARRY, P. A.; HEGGEN, R. J.; SABOL, G. V. **Infiltration**. In: ASCE, Hydrology Handbook. Second Edition. New York: ASCE, 1996. O. 75-124 (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice n. 28).

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso**. 2000. 200f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - IPH/URGS, Porto Alegre, 2001.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: Modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas.** Dissertação Mestrado em Geomática. Santa Maria: UFSM, 2004.

SANTOS, I.M.; ZEILHOFER, P. **Modelagem Hidrológica integrada em Sistemas de Informação Geográfica.** Disponível em [www.geodesia.ufsc.br/Geodesia - online/arquivo/2005/04.2/SZ-2005-res.htm](http://www.geodesia.ufsc.br/Geodesia_online/arquivo/2005/04.2/SZ-2005-res.htm). Consultado em 10 jan 2008.

SANTOS, A. G. C, SILVA, R. M, Aplicação do modelo hidrológico Açumod baseado em sig para a gestão de recursos hídricos do Rio Pirapama. Ambiente e Água – **Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 2, n. 2, p. 7-20, 2007.

SANTOS, M. A. **Construção de cenários em ambiente SIG para avaliar mudanças de uso de terras induzidas por usinas hidrelétricas na região agrícola de Andradina-SP.** Dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP. 2002.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** Campinas, SP: – Universidade Estadual de Campinas, 2004. 166p. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p. 05-18, 2005.

SEPLAN / SRH - SE Secretaria de Estado do Planejamento / Superintendência de Recursos Hídricos. Estudo para recuperação de áreas degradadas da sub-bacia Riacho das Capivaras no Município de Estância. **Relatório Técnico**, 2006.

SHIDA, C. N. e PIVELLO, V. R. Caracterização fisiográfica e de uso das terras da região de Luiz Antônio e Santa Rita do Passa Quatro-SP, com uso de sensoriamento remoto e SIG. **Investigaciones Geográficas**. Boletim n. 49, p. 27-42, 2002.

SILVA, L. R. B. S. Medida e Estimativa do Escoamento Superficial em Solo Cultivado sob Diferentes sistemas de Manejo. Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp, 1996. **Relatório de Iniciação Científica**. Orientador Prof. Abel Maia Genovez e Co-orientador Francisco Lombardi Neto.

SILVA, D. D.; et al. Escoamento Superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v.21, n.1, p.12-20, jan. 2001.

SILVA, P. M. de O. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG**. 2006. 115f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UFLA, MG. 2006.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 1997, 35-51 p.

SOIL CONSERVATION SERVICE. (1972) **Hydrology**. In: National engineering handbook. Section 4. Washington: USDA, P.101-1023, 1972.

SOUZA, J. L.; LOMBARDI NETO, F.; TUBELIS, A. Estimativa e análise do escoamento superficial em solo descoberto e cultivado com a sucessão soja e trigo, sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p. 77-84, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2^a ed. Porto Alegre - RS: Editora da UFRGS: ABRH, 1997. 943p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 1^a ed. Porto Alegre – RS: Editora da UFRGS: ABRH, 1998. 652 p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. 1^a ed. Porto Alegre – RS: Editora da UFRGS: ABRH, 2002. 256 p.

USBR U.S. Bureau of Reclamation – United states Department of the interior. **Design of Small Dams**. Companhia Editorial S.A. México, D. F. 1977. 639p.

VALENTE, O. F. e CASTRO, P. S. Manejo de bacias hidrográficas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.7, n.80, p.40 -45, 1987.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975, 247p.

VOGEL, R.M.; FENNESSEY, N.M. Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals. In: **Journal of Water Resources Planning and Management**, vol. 120, n.4, p. 485-504. 1994.

YOUNG, M. D. B.; GOWING, J. W.; WYSEURE, G. C. L.; HATIBU, N. *Parched – Thirst: development and validation of a process-based model of rainwater harvesting*. **Agricultural Water Management**, 55: 121-140, 2002.

ZANETTI, S. S. **Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2007. 135f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)